Aufbau von Energieanlagen

mit

Gasmotor-Antrieb

(Planungs- und Montagehinweise)

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Dieses Handbuch einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte hieraus bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung der Urheber unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherungen und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

© Caterpillar Energy Solutions GmbH
Mannheim 2014

Die Wiedergabe von Markennamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und der Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE...) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so können die Autoren und Caterpillar Energy Solutions GmbH keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Abbildungen, Zeichnungen, Skizzen und Schaltpläne innerhalb des Handbuches sind allgemeine Informationen für die Projektierung. Bei Aufträgen ist die jeweilige Auftragsdokumentation verbindlich.

Die Zeichnungen in diesem Handbuch unterliegen nicht dem Änderungsdienst. Sie werden erst bei der nächsten Auflage dieses Handbuches aktualisiert.

Impressum
Caterpillar Energy Solutions GmbH
VD-S
Carl-Benz-Str. 1
68167 Mannheim
Deutschland
Tel.: +49 (0) 6 21 3 84-0
Fax: +49 (0) 6 21 3 84-86 12

© 2014
Alle Rechte vorbehalten
All rights reserved

Vorwort

Dieses Handbuch richtet sich an alle, die mit einer unserer Anlagen betraut sind und dient nicht als Bedienungsanleitung für den Endkunden. Aus diesem Grund ist dieses Handbuch keine Benutzerinformation gemäß DIN 8418. Es erfüllt aber einen ähnlichen Zweck, da die Einhaltung dieser Richtlinie zur Funktion der Anlage beiträgt und deshalb den Endbenutzer vor Gefahren schützt, die durch den Gebrauch der Anlage verursacht werden können.

Betriebssicherheit und eine lange Betriebsdauer können nur von fachgerecht installierten Anlagen erfüllt werden. Wartungsarbeiten können dadurch einfacher und schneller ausgeführt werden. Dieses Handbuch gibt Informationen zum richtigen Einbau und gibt dabei Hinweise für einzuhaltende Grenzwerte.

Die Sicherheitsvorschriften, die Bestandteil der Aggregate und/oder -Anlagedokumentation sind, müssen bei Aufbau, Wartung und Betrieb der Anlagen zwingend eingehalten werden.

Durch eine Vielfalt von Einbaumöglichkeiten ist es nur möglich allgemeingültige Richtlinien festzulegen. Erfahrung und spezielles Fachwissen ist für einen optimalen Einbau der Aggregate notwendig. Die aufgeführten Normen, Richtlinien und Vorschriften haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. In jedem einzelnen Einsatzfall sind deshalb die örtlichen Vorgaben zu prüfen und zu berücksichtigen.

Deswegen empfehlen wir, während der Planungsphase Mitarbeiter von Caterpillar Energy Solutions GmbH oder einen autorisierten Vertriebspartner zu Rate zu ziehen.

Gewährleistungsansprüche werden von Caterpillar Energy Solutions GmbH nicht akzeptiert und Caterpillar Energy Solutions GmbH haftet nicht für Schäden, die aus Nichteinhaltung der Informationen und Hinweise des Handbuches resultieren.

Für Kritik und Anregungen zur Verbesserung oder Ergänzung dieser Richtlinie sind wir jederzeit dankbar.

Caterpillar Energy Solutions GmbH VD-S, 2014-06

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Titel
1	Aufbau von Anlagen mit Gasmotoraggregaten
2	Aggregateleistung
3	BHKW - Aggregat
4	Anforderungen für die Aufstellung des Aggregates
5	Maschinenraumbelüftung
6	Motorkühlsysteme
7	Brennstoffsystem
8	Schmierölsystem
9	Verbrennungsluftsystem
10	Abgassystem
11	Druckluftsystem
12	Mess-, Überwachungs- und Begrenzungseinrichtungen
13	Anforderungen an BHKW-Anlagen nach der Mittelspannungsrichtlinie
14	Elektrische Schaltanlagen
15	Inselbetrieb mit Gasmotoren
16	Lastzuschaltungen
17	Verkabelung
18	Aggregate-Transport und -Einbringung
19	Einbau - und Ausrichtungshinweise für das Aggregat
20	Verlegung von Rohrleitungen
21	Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 1

Aufbau von Anlagen mit Gasmotoraggregaten zur Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

1.	**Aufbau von Anlagen mit Gasmotoraggregaten zur Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken (BHKW)**	**3**
1.1	Einsatzarten	3
1.1.1	Wärmegeführte Betriebsweise	3
1.1.2	Stromgeführte Betriebsweise	4
1.1.2.1	Netzparallelbetrieb	4
1.1.2.2	Inselbetrieb	4
1.1.2.2.1	Ersatzstrombetrieb	4
1.1.2.2.2	Schwarzstart	5
1.1.3	Betriebsweise nach Brenngasangebot	5
1.1.4	Zweigasbetrieb	5

1. Aufbau von Anlagen mit Gasmotoraggregaten zur Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken (BHKW)

Ein Gasmotoraggregat besteht aus dem Verbrennungsmotor, dem Generator, der Kupplung, dem Grundrahmen und der Lagerung. Motor und Generator werden starr auf dem Grundrahmen aufgebaut. Diese Einheit wird als BHKW-Aggregat bezeichnet und dient zur Strom- und Wärmeerzeugung.
Ein BHKW-Modul besteht aus einem BHKW-Aggregat und den Komponenten:

- Kühlwasserwärmetauscher
- Abgaswärmetauscher
- Abgasschalldämpfer
- Abgasreinigungsanlage
- Kraftstoffbehälter bzw. Gasversorgung
- Schmierölversorgung
- Aggregateüberwachung

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem oder mehreren BHKW-Modulen, der Schaltanlage mit Leittechnik, der Zuluftanlage und der Abluftanlage.
Grundlagen, Anforderungen, Komponenten, Ausführung und Wartung von Stromerzeugungsaggregaten sind in DIN 6280 Teil 14 beschrieben (siehe Abb. 1.1).

Achtung !
An den von dem Hersteller gelieferten Aggregaten, Komponenten und Schaltschränken dürfen keine Veränderungen vorgenommen und keine Fremdteile eingebaut werden.
Um EMV-Probleme auszuschließen, müssen anlagenseitige Teile, wie Frequenzumrichter, unbedingt nach Herstellerangaben mit geschirmten Leitungen verkabelt werden. Siehe auch Kapitel 14 und 17.

1.1 Einsatzarten

Je nach Einsatz kann die Anlage vorrangig zur Strom- oder Wärmeerzeugung genutzt werden.

1.1.1 Wärmegeführte Betriebsweise

Bei der wärmegeführten Betriebsweise ist der Wärmebedarf die Führungsgröße für die Leistungsabgabe des BHKW. Zur Deckung des momentanen Wärmebedarfs kann das BHKW durch andere Wärmeerzeuger unterstützt werden.

1.1.2 Stromgeführte Betriebsweise

Bei der stromgeführten Betriebsweise ist der Strombedarf die Führungsgröße für die Leistungsabgabe des BHKW.

1.1.2.1 Netzparallelbetrieb

Im Netz-Parallelbetrieb versorgt das Blockheizkraftwerk z.B. bis zum Erreichen der max. elektrischen Leistung entsprechend der Nennleistung des Motors die Verbraucher. Der erforderliche Mehrbedarf wird von dem elektrischen Versorgungsnetz abgedeckt. Zu Hochtarif-Zeiten können Lastspitzen mit den Aggregaten abgefahren werden.
Bei Netzausfall besteht die Möglichkeit das Blockheizkraftwerk im Inselbetrieb zu betreiben.

1.1.2.2 Inselbetrieb

Im Inselbetrieb versorgt das Blockheizkraftwerk den Leistungsbedarf der Verbraucher allein.
Die Aggregate müssen die Leistung der aufgeschalteten Verbraucher in jedem Betriebszustand zur Verfügung stellen. Das gilt sowohl für die Lastaufschaltung als auch den Lastabwurf.
Durch das Last-Management der Schaltanlage ist sicherzustellen, dass die Aggregate nicht überlastet werden. Auftretende Laststöße dürfen die maximal zulässigen Stufen, die für jeden Aggregatetyp gesondert festgelegt sind, keinesfalls überschreiten (s. Kapitel "Lastzuschaltungen"). Dies gilt für die Lastaufschaltung und den Lastabwurf. Hierbei ist die Einschaltleistung und nicht die Nennleistung der jeweiligen Verbraucher zu berücksichtigen (Beschreibung hierzu siehe Kapitel 15 Inselbetrieb und Kapitel 16 Lastzuschaltungen).

1.1.2.2.1 Ersatzstrombetrieb

Das Blockheizkraftwerk kann unter Berücksichtigung entsprechender Zusatzmaßnahmen auch zur Ersatzstromversorgung eingesetzt werden und deckt somit den Strombedarf bei Netzausfall nach :
DIN VDE 0100-710 und DIN VDE 0100-560
DIN EN 50172 und DIN VDE 0100-718
Der Ersatzstrombetrieb ist im Einzelfall abzuklären und bedarf der Genehmigung. Nicht alle Aggregate sind nach den oben aufgeführten Normen ersatzstromfähig. Die motorspezifischen Laststufen sind zu beachten.
Die vom Blockheizkraftwerk gleichzeitig bereitgestellte Wärmeenergie sollte weitestgehend genutzt werden (z.B. Wärmenutzung oder Kälteerzeugung), wofür gegebenenfalls Wärmespeicher einzusetzen sind. Bei Ersatzstromversorgung ist die Wärmeabfuhr auf alle Fälle sicherzustellen, evtl. mit Hilfe von Speichern und/ oder einer Notkühleinrichtung.

1.1.2.2.2 Schwarzstart

Der Schwarzstart ist eine Notfunktion der Gasaggregate und sollte nur für dringende Notfälle verwendet werden. Wenn ein Gasaggregat "schwarz gestartet" wird, startet es ohne Hilfsantriebeversorgung für die Vorschmierung und die Kühlwasserpumpen. Das Gasaggregat startet direkt, nachdem im TEM der Anforderungskontakt geschlossen ist. Die Kühlwasserpumpen werden gestartet, sobald die Hilfsantriebeversorgung verfügbar ist. Des weiteren wird auf eine vorherige Dichtheitskontrolle der Gasregelstrecke verzichtet.
Die Motoren der Baureihen TCG 2016 und TCG 2020 sind schwarzstartfähig, die der Baureihe TCG 2032 nicht (siehe auch Kapitel 15.7).

1.1.3 Betriebsweise nach Brenngasangebot

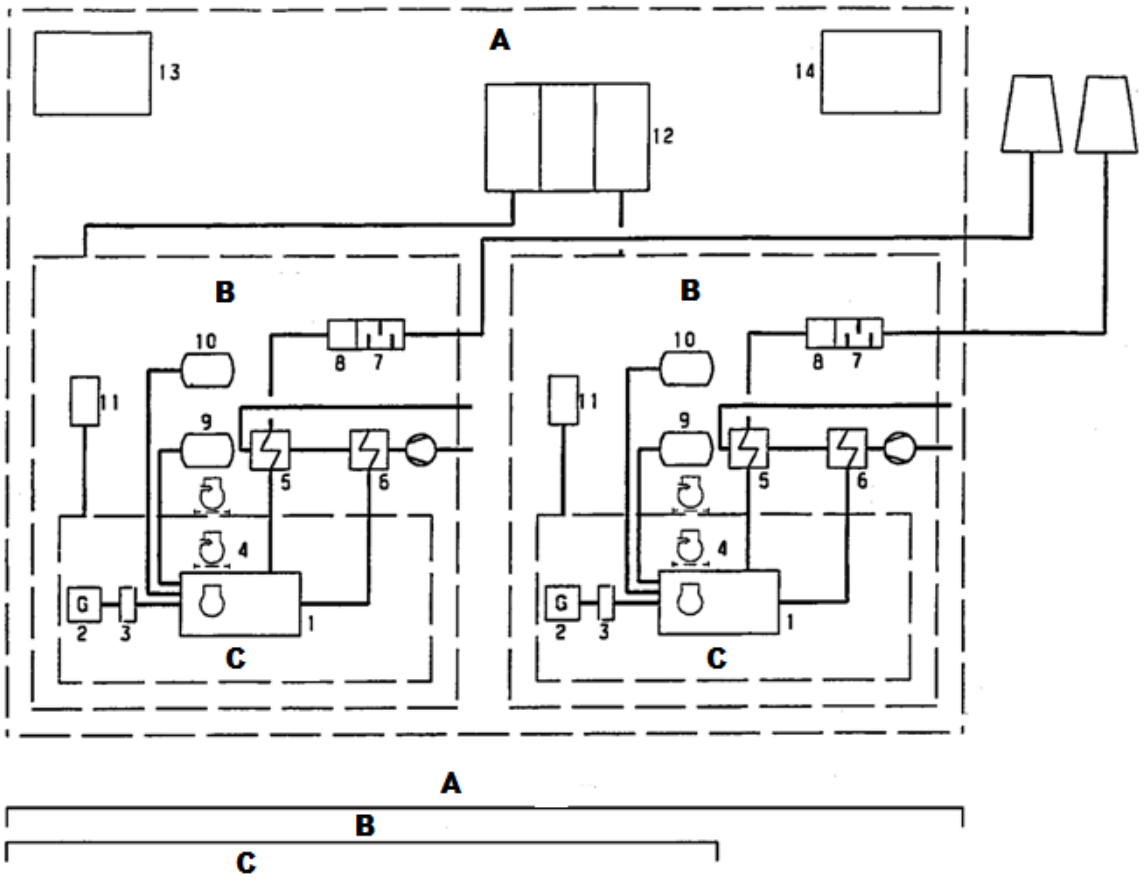
Bei dieser Betriebsweise ist die Führungsgröße das verfügbare Brenngasangebot (z.B. Deponiegas, Klärgas, Biogas, usw.). Je nach vorhandener Gasmenge werden bei Mehrmotorenanlagen Aggregate zu oder abgeschaltet. Bei Anlagen mit einem Aggregat wird die Leistung der verfügbaren Gasmenge angepasst.

1.1.4 Zweigasbetrieb

In besonderen Anwendungsfällen werden die Gasaggregate zum Betrieb mit zwei Gasarten ausgerüstet. Stehen z.B. Erdgas und Klärgas als Brenngas zur Verfügung, kann bei zu geringem Klärgasangebot auf Erdgas umgeschaltet werden. Die Umschaltung zwischen den Gasarten erfolgt beim Stillstand des Aggregates.

Abb. 1.1

Definition und Abgrenzung der BHKW-Komponenten nach DIN 6280-14



A	Blockheizkraftwerk BHKW
B	BHKW-Modul
C	BHKW-Aggregat
1	Hubkolben, Verbrennungsmotor
2	Generator
3	Kupplung und Lagerung
4	Verbrennungsluftfilter (wahlweise vom Motor getrennt aufgebaut)
5	Abgaswärmetauscher
6	Kühlwasserwärmetauscher
7	Abgasschalldämpfer

8 Abgasreinigungsanlage
9 Kraftstoffbehälter bzw. Gasversorgung
10 Schmierölversorgung
11 Aggregateüberwachung
12 Schaltanlage mit Leittechnik
13 Zuluftanlage
14 Abluftanalge

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 2

Aggregateleistung

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

2. Aggregateleistung 3
2.1 Wärmebedarf 3
2.2 Strombedarf 3
2.3 Brennstoffangebot 3
2.4 Leistungsangaben auf den Typenschildern 4
2.4.1 Typenschild des Motors 4
2.4.2 Typenschild des Generators 4
2.4.3 Typenschild des Aggregates 4

2. Aggregateleistung

Zur Auslegung der Aggregategröße ist der Strom- und Wärmebedarf anhand von Jahreskennlinien zu ermitteln.

2.1 Wärmebedarf

Nach der Wärmebedarfs-Kennlinie kann die Aggregategröße und -anzahl für eine wärmegeführte Betriebsweise ermittelt werden. Die Stromerzeugung und der Strombedarf sind bei der wärmegeführten Betriebsweise unbedingt zu berücksichtigen, da es aufgrund der gewählten Betriebsweise zu Stromrückspeisung und / oder zu Stromnetzbezug kommen kann.

2.2 Strombedarf

Für die Auslegung nach dem Strombedarf im Netzparallelbetrieb ist die Strombedarfs- Kennlinie maßgebend. Dabei ist gleichzeitig zu prüfen, ob eine Aufteilung der erforderlichen Gesamtleistung auf mehrere Aggregate zweckmäßig ist. Für den Ersatzstrombetrieb ist neben dem Strombedarf im Netzparallelbetrieb die Ersatzstromleistung zu beachten. Eine Unterscheidung von „wichtigen“ und „nicht wichtigen“ Verbrauchern und den zulässigen Unterbrechungszeiten muss erfolgen.
Nicht alle Verbraucher sind gleichzeitig eingeschaltet bzw. erreichen gleichzeitig ihren max. Stromverbrauch (Gleichzeitigkeitsfaktor).
Einige Verbraucher nehmen reine Wirkleistung, andere dagegen eine Scheinleistung auf (Leistungsfaktor „cos phi“). Besondere Verbraucher, z.B. mit Stoßlast-Charakteristik oder extremen Forderungen an Spannungs- und Frequenzkonstanz, müssen berücksichtigt werden.
Bei besonderen klimatischen Aufstellungsbedingungen (große Höhe, hohe Lufttemperaturen und Luftfeuchte) können Motor und Generator nicht ihre Normalleistung abgeben (Leistungsreduktion nach ISO 8528-1 bzw. DIN VDE 0530 sowie DIN EN 60034).

2.3 Brennstoffangebot

Die Aggregateleistung bzw. Anzahl der Aggregate richtet sich nach der zur Verfügung stehenden Gasmenge. Die Aggregate dürfen dabei nur im Leistungsbereich 50 – 100 % betrieben werden. Dabei sollte die Leistung im Dauerbetrieb größer 70 % liegen.

2.4 Leistungsangaben auf den Typenschildern

Bei einem Generator-Aggregat haben Motor, Generator und das Aggregat jeweils ein eigenes Typenschild.

2.4.1 Typenschild des Motors

Für Gasmotoren wird generell die Leistung SCN (Dauernutzleistung, nicht überlastbar) nach DIN 3046-7 angegeben. Auf dem Prüfstand werden Gasmotoren mit Erdgas gefahren. Für Motoren, die im späteren Betrieb mit anderen Gasen betrieben werden, wird zusätzlich die Leistung für diese Gasart auf dem Typenschild angegeben. Die Gasart wird durch eine Erweiterung hinter der Leistungsbezeichnung berücksichtigt.
Auf dem Typenschild können z.B. folgende Leistungen angegeben sein:

SCN n:	Dauernutzleistung bei Erdgasbetrieb; n steht für natural gas (Erdgas); diese Leistung wird auf dem Prüfstand gefahren
SCN b:	Dauernutzleistung bei Biogasbetrieb; b steht für biogas

Weitere Erweiterungen können sein:

m	mine gas (Grubengas)
s	sewage gas (Klärgas)
l	landfill gas (Deponiegas)

2.4.2 Typenschild des Generators

Auf dem Typenschild des Generators wird die die Typen-Scheinleistung nach IEC 60034 und der Leistungsfaktor (cos Phi) des Generators angegeben. Die Angabe ist in kVA (Kilo-Volt-Ampere), der Leistungsfaktor ist dimensionslos.

2.4.3 Typenschild des Aggregates

Auf dem Typenschild des Aggregates wird die elektrische Nennleistung des Aggregates angegeben. Die Bezeichnung der Leistungsart erfolgt nach DIN 8528-1. Die Angabe der Leistung erfolgt in KWel (Kilowatt elektrisch).
Aggregate mit Gasmotoren sind für Dauerbetrieb konzipiert, auf dem Aggregate-Typenschild wird deshalb immer die -Leistungsart COP angegeben.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 3

BHKW-Aggregat

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

3.	**BHKW – Aggregat**	**3**
3.1	Aggregateaufbau	3
3.2	Aggregat	3
3.2.1	Motorüberwachung und Verkabelung	3
3.2.2	Aggregatebeispiele	14
3.3	Generatoren	19
3.3.1	Allgemeines	19
3.3.2	Generatorspannungsregelung	20
3.3.2.1	Allgemeine Funktion des Spannungsreglers	21
3.3.2.2	Einstellung des Sollwertstellers	21
3.3.3	Generatorschutz	21
3.3.3.1	Überwachungseinrichtungen für den Generator nach ISO 8528 Teil 4	21
3.3.4	Erdung	22

3. BHKW – Aggregat

3.1 Aggregateaufbau

Aggregate bestehen aus folgenden Hauptkomponenten:

- Gasmotor
- Generator
- drehelastische Kupplung
- Grundrahmen
- elastische Lagerelemente

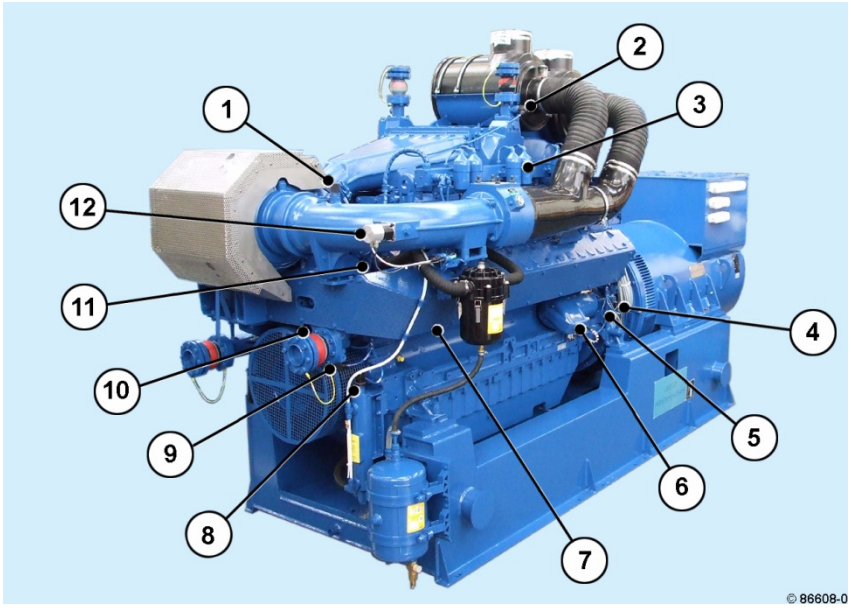
Motor und Generator sind drehelastisch miteinander gekuppelt und starr auf dem Grundrahmen befestigt. Der Grundrahmen steht mittels elastischer Lagerelemente auf dem Fundament.
Am Aggregat sind alle elastischen Anschlüsse für die Betriebsstoffsysteme montiert. Hilfsaggregate wie Vorschmierung und Schmierölniveau-Überwachung sind am Grundrahmen angebaut.
Eine Vorwärmung ist für jeden Motor vorzusehen. Sie kann je nach Ausführung der Anlage am Aggregat oder in der Anlage installiert werden.

3.2 Aggregat

3.2.1 Motorüberwachung und Verkabelung

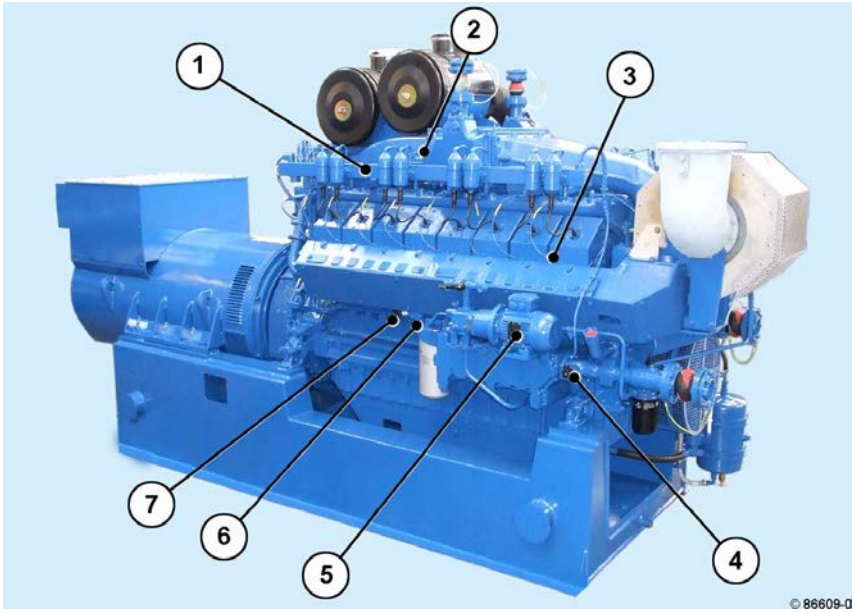
Der Gasmotor ist mit Gebern zur Überwachung und Steuerung ausgerüstet. Die Geber sind auf einer Multifunktionsschiene auf Zylinderreihe A und B verkabelt. Von jeder Multifunktionsschiene führen Sammelkabel zum TEM - System (TEM siehe 14.1). Am Motor sind an der Kupfer-Schiene alle zu erdenden Teile angeschlossen. Diese Schiene muss deshalb mit dem Erdungssystem der Schaltanlage verbunden werden. Einen Überblick der Überwachung zeigen die anschließenden Motordarstellungen.

Abb. 3.1a Motor TCG 2016 V08 C, V12 C und V16 C – Geberanordnung



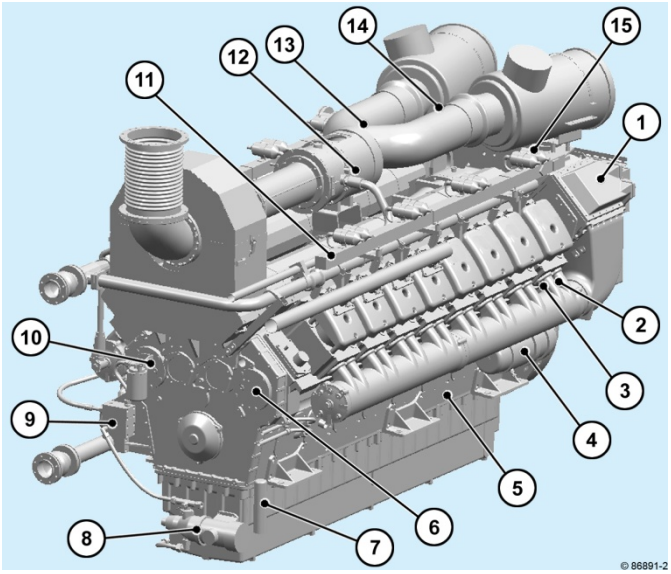
1	Gemisch-Temperatursensor vor Abgasturbolader
2	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Niedertemperaturkreis Eingang)
3	Zündspule Jeweils eine Zündspule pro Zylinder
4	Schwungradsensor – Anbauort je nach Ausführung
5	Starterrelais
6	Starter
7	Klopfsensor Jeweils ein Sensor für zwei Zylinder
9	Schmieröl-Niveausensor
10	Nockenwellensensor
11	Kurbelgehäuse-Drucksensor
12	Schrittmotor Gas-Luft-Mischer

Abb. 3.1b Motor TCG 2016 V08 C, V12 C und V16 C – Geberanordnung



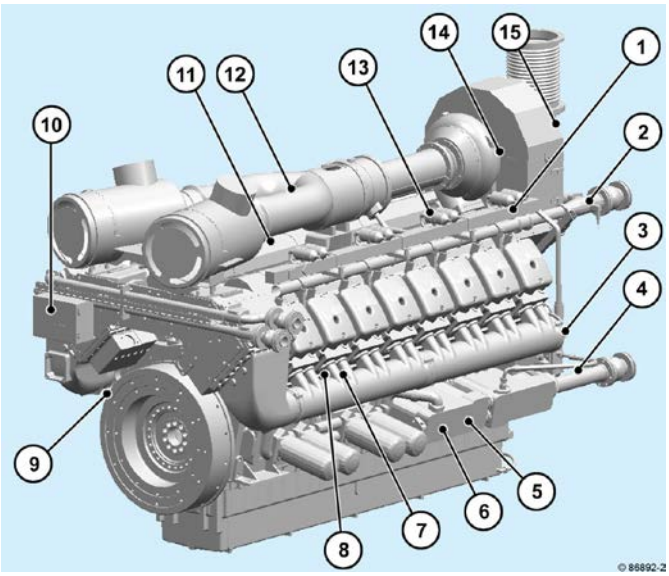
1	Multifunktionsschiene Zylinderreihe B
2	Ladegemisch-Temperatursensor nach Gemischkühler im TEM-System Parameter Receiver
3	Brennraum-Temperatursensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
4	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Hochtemperaturkreis Eingang)
5	Vorschmierpumpe
6	Schmieröl-Temperatursensor
7	Schmieröl-Drucksensor

Abb. 3.2a Motor TCG 2020 V12(K) und V16(K) – Geberanordnung



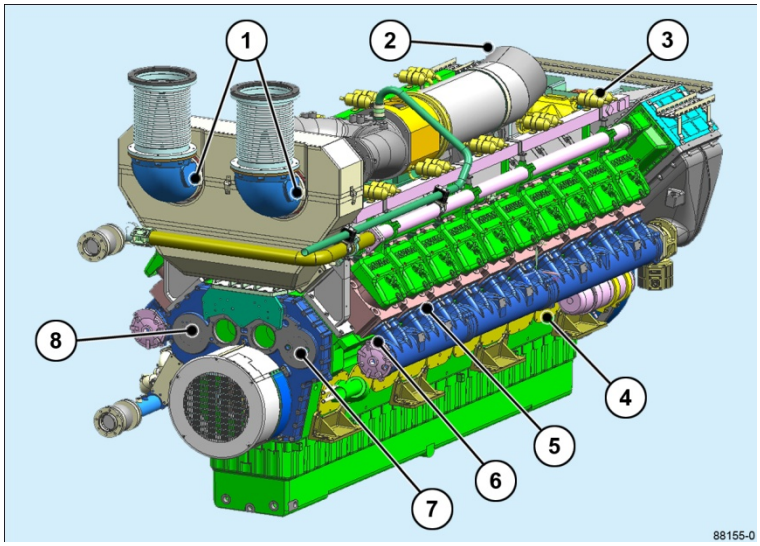
1	Kühlfüssigkeits-Temperatursensor vor Gemischkühler
2	Klopfsensor
	Jeweils ein Sensor pro Zylinder
3	Brennraum-Temperatursensor
	Jeweils ein Sensor pro Zylinder
4	Starter
5	Starterrelais
6	Kurbelgehäuse-Drucksensor
7	Schmieröl-Niveausensor
8	Vorschmierpumpe
9	Schmieröl-Drucksensor
10	Nockenwellensensor
11	Multifunktionsschiene Zylinderreihe A
12	Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer
13	Ansaugluft-Temperatursensor
	V16-Motor
14	Ansaugluft-Temperatursensor
	V12-Motor
15	Zündspule
	Jeweils eine Zündspule pro Zylinder

Abb. 3.2b Motor TCG 2020 V12 und V16 – Geberanordnung



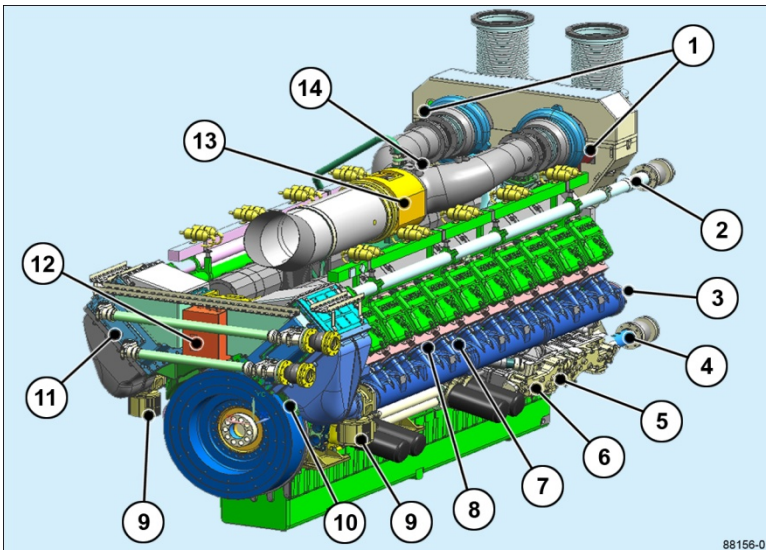
1	Multifunktionsschiene Zylinderreihe B
2	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motoraustritt)
3	Gemisch-Temperatursensor
4	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motoreintritt)
5	Schmieröl-Temperatursensor
6	Schmieröl-Drucksensor
7	Klopfsensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
8	Brennraum-Temperaursensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
9	Schwungrad-Impulssensor
10	Zündsteuergerät
11	Stellgerät
12	Schritt-Motor Gas-Luft-Mischer
13	Zündspule Jeweils eine Zündspule pro Zylinder
14	Abgasturbolader-Drehzahlsensor
15	Abgasturbolader-Temperatursensor

Abb. 3.3a Motor TCG 2020 V20 – Geberanordnung



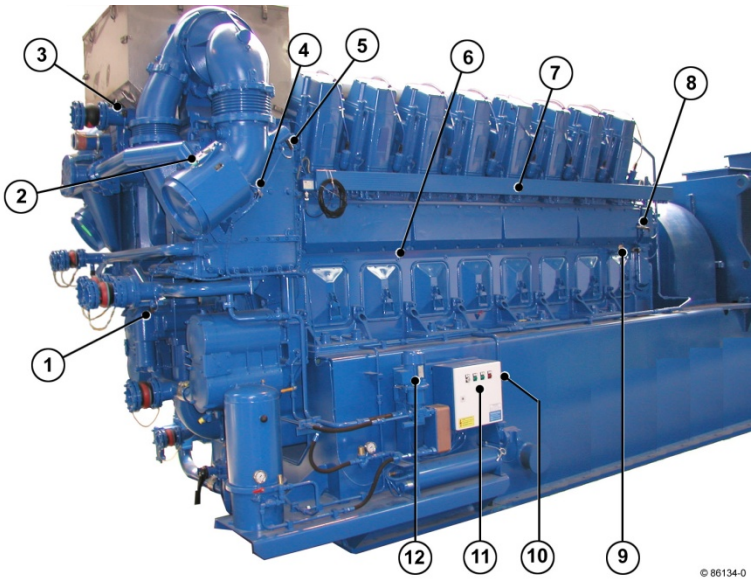
1	Abgasturbolader-Temperatursensor
2	Ansaugluft-Temperatursensor
3	Zündspule Jeweils eine Zündspule pro Zylinder
4	Starterrelais
5	Brennraum-Temperatursensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
6	Klopfsensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
7	Kurbelgehäuse-Drucksensor
8	Nockenwellensensor

Abb. 3.3b Motor TCG 2020 V20 – Geberanordnung



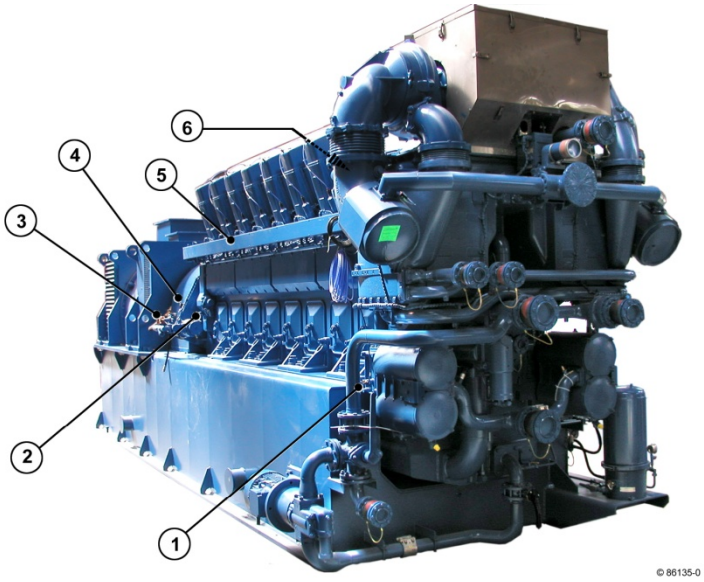
1	Abgasturbolader-Drehzahlsensor
2	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motoraustritt)
3	Gemisch-Temperatursensor
4	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motoreintritt)
5	Schmieröl-Temperatursensor
6	Schmieröl-Drucksensor
7	Klopfsensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
8	Brennraum-Temperatursensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
9	Stellgerät
10	Schwungrad-Impulssensor
11	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor vor Gemischkühler
12	Zündsteuergerät
13	Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer
14	Schrittmotor Gas-Luft-Mischer

Abb. 3.4a Motor TCG 2032 V12 und V16 – Geberanordnung



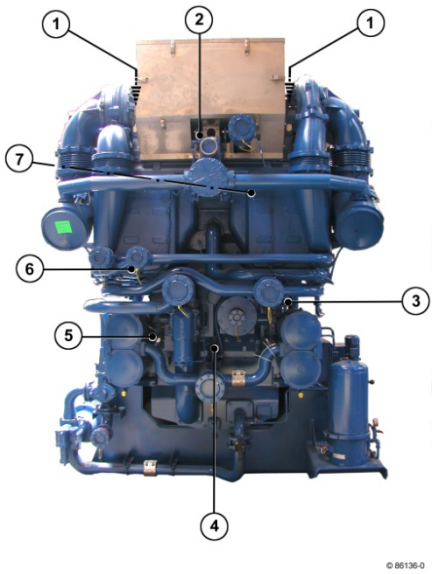
1	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Hochtemperaturkreis Eintritt)
2	Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer Jeweils ein Schalter pro Gas-Luft-Mischer
3	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Hochtemperaturkreis Austritt)
4	Gemisch-Temperatursensor Jeweils ein Sensor pro Gas-Luft-Mischer
5	Schrittmotor Gas-Luft-Mischer Jeweils ein Schrittmotor pro Gas-Luft-Mischer
6	Je nach Ausführung – Grundlager-Temperatursensor
7	Multifunktionsschiene Zylinderreihe A
8	Nockenwellensensor
9	Kurbelgehäuse-Drucksensor
10	Elektrische Pumpe für Vorwärmaggregat (Kühlflüssigkeit)
11	Elektrisches Vorwärmgerät für Kühlflüssigkeit und Schmieröl
12	Elektrische Pumpe für Vorwärmaggregat (Schmieröl)

Abb. 3.4b Motor TCG 2032 V12 und V16 – Geberanordnung



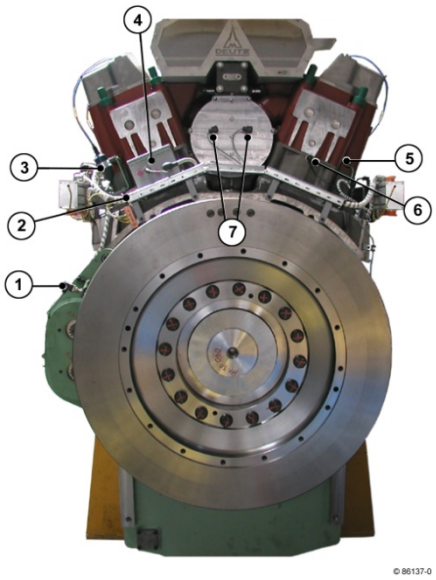
1	Schmieröl-Temperatursensor
2	Anlasssicherung für Motortörnvorrichtung
3	Magnetventil für Druckluftstarter
4	Schwungradsensor – Anbauort je nach Ausführung
5	Multifunktionsschiene Zylinderreihe B
6	Ladegemisch-Temperatursensor Jeweils ein Sensor für A- und B-Seite V12-Motor: Zwischen Zylinder A4 und A5 sowie vor B6 V16-Motor: Zwischen Zylinder A6 und A7 sowie vor B8

Abb. 3.4c Motor TCG 2032 V12 und V16 – Geberanordnung



1	Abgasturbolader-Drehzahlsensor Jeweils ein Sensor pro Abgasturbolader
2	Stellgerät
3	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Hochtemperaturkreis Eintritt)
4	Schmieröl-Niveausensor
5	Schmieröl-Drucksensor (Schmieröldruck vor Schmierölfilter)
6	Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Niedertemperaturkreis Eintritt)
7	Ladegemisch-Drucksensor A-Seite, Gemischkühler – Je nach Ausführung

Abb. 3.4d Motor TCG 2032 V12 und V16 – Geberanordnung



1	Schwungradsensor – Anbauort je nach Ausführung
2	Schmieröl-Drucksensor (Schmieröldruck nach Filter)
3	Zündspule Jeweils eine Zündspule pro Zylinder
4	Zündsteuergerät
5	Brennraum-Temperatursensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
6	Klopfsensor Jeweils ein Sensor pro Zylinder
7	Ladegemisch-Drucksensor Jeweils ein Sensor für A- und B-Seite

3.2.2 Aggregatebeispiele

Die Abbildungen 3.6 bis 3.9 zeigen Aggregate mit Gasmotoren der Baureihe 2016, 2020, 2032.

Verbindliche Aggregateabmessungen sind in der auftragsbezogenen Aggregate-Zeichnung enthalten.

Abb. 3.5 **Motor TCG 2016 V16 C mit Marelli-Generator MJB 450 MB 4**
Aggregategewicht ca. 8450 kg (Transport)

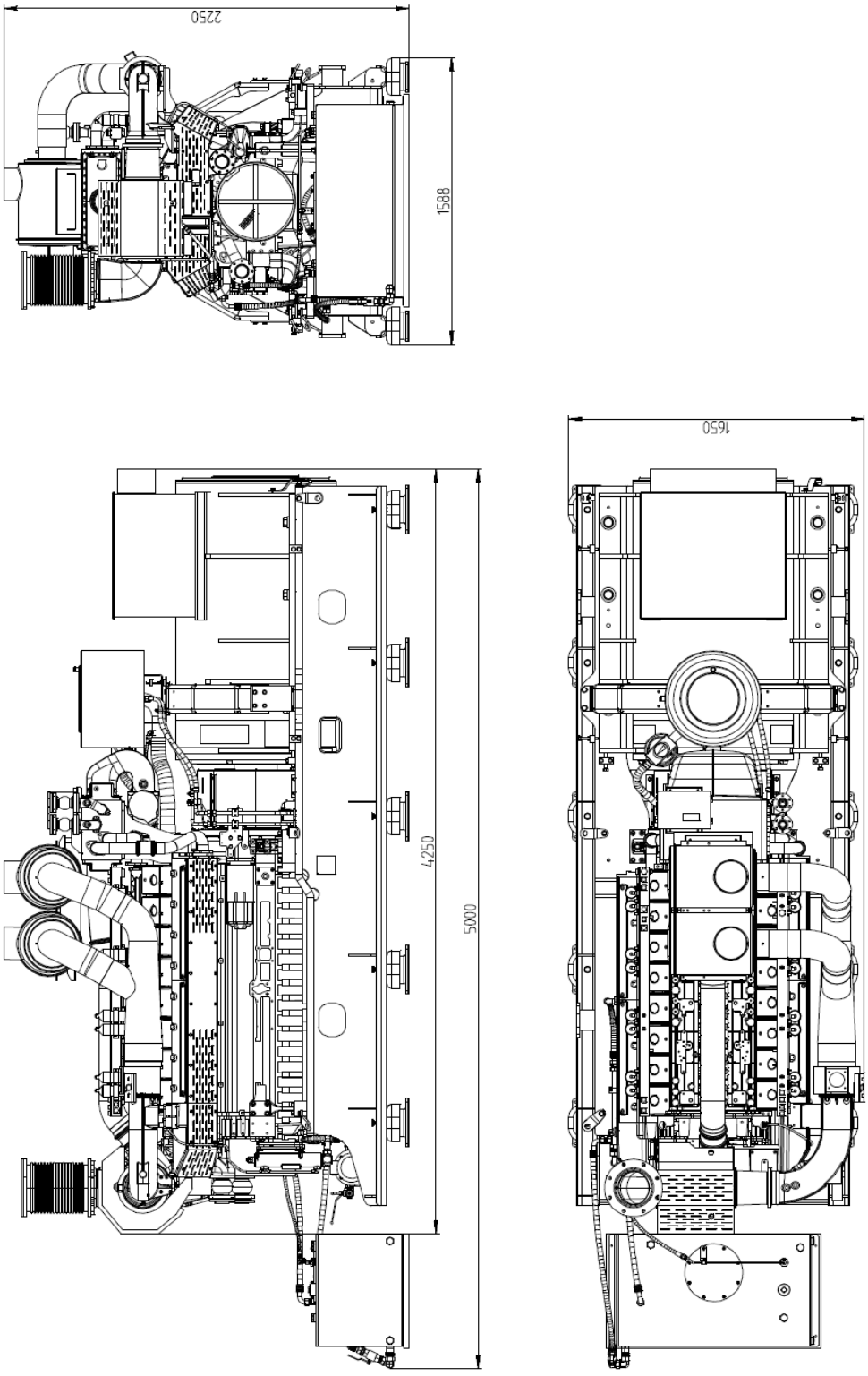


Abb. 3.6 **Motor TCG 2020 V16 mit Marelli-Generator MJB 500 LA4**
Aggregategewicht ca. 13320 kg (Transport)

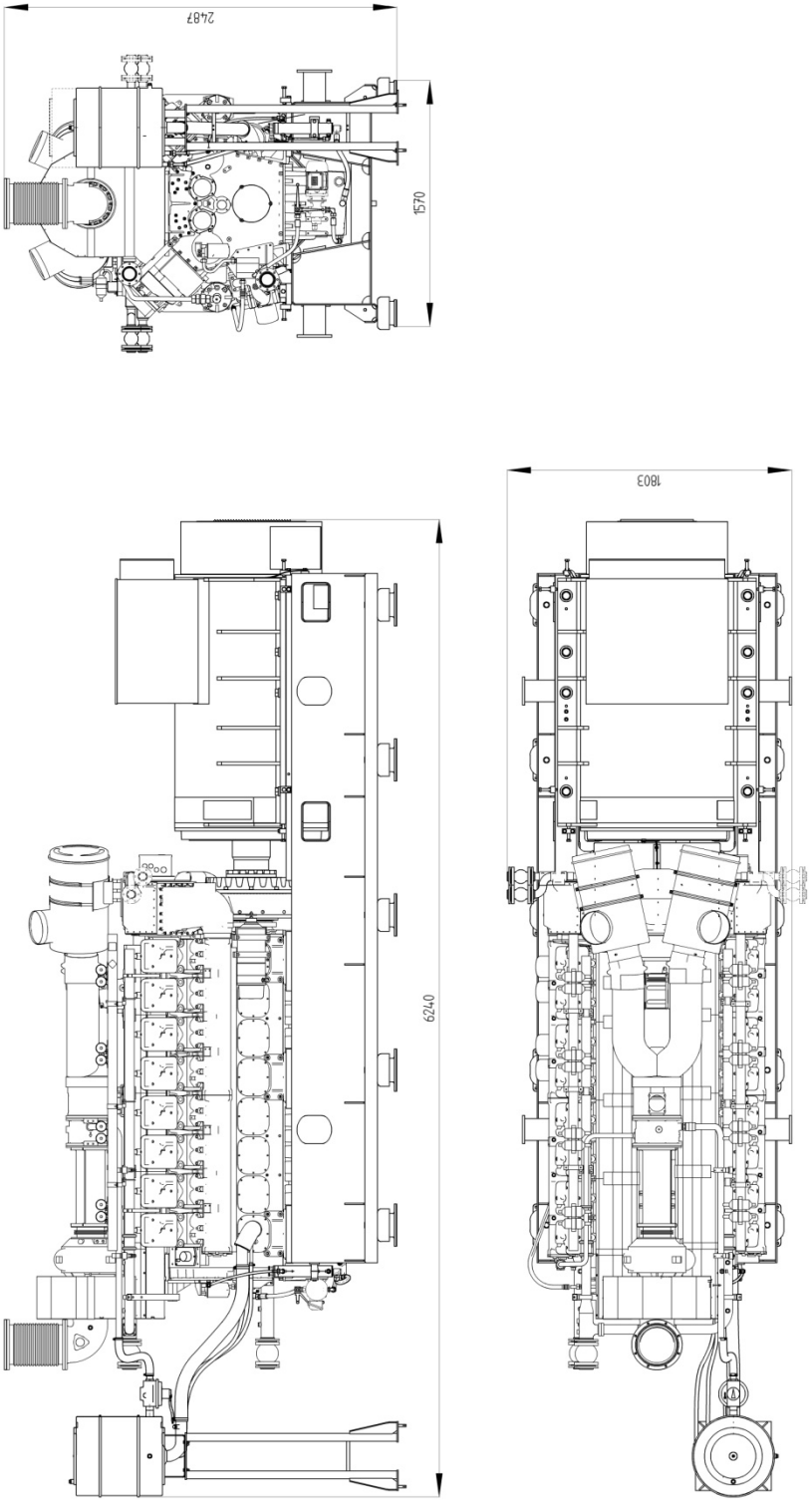


Abb. 3.7 Motor TCG 2020V20 mit Marelli-Generator MJB 560 LB 4
Aggregategewicht ca. 17900 kg (Transport)

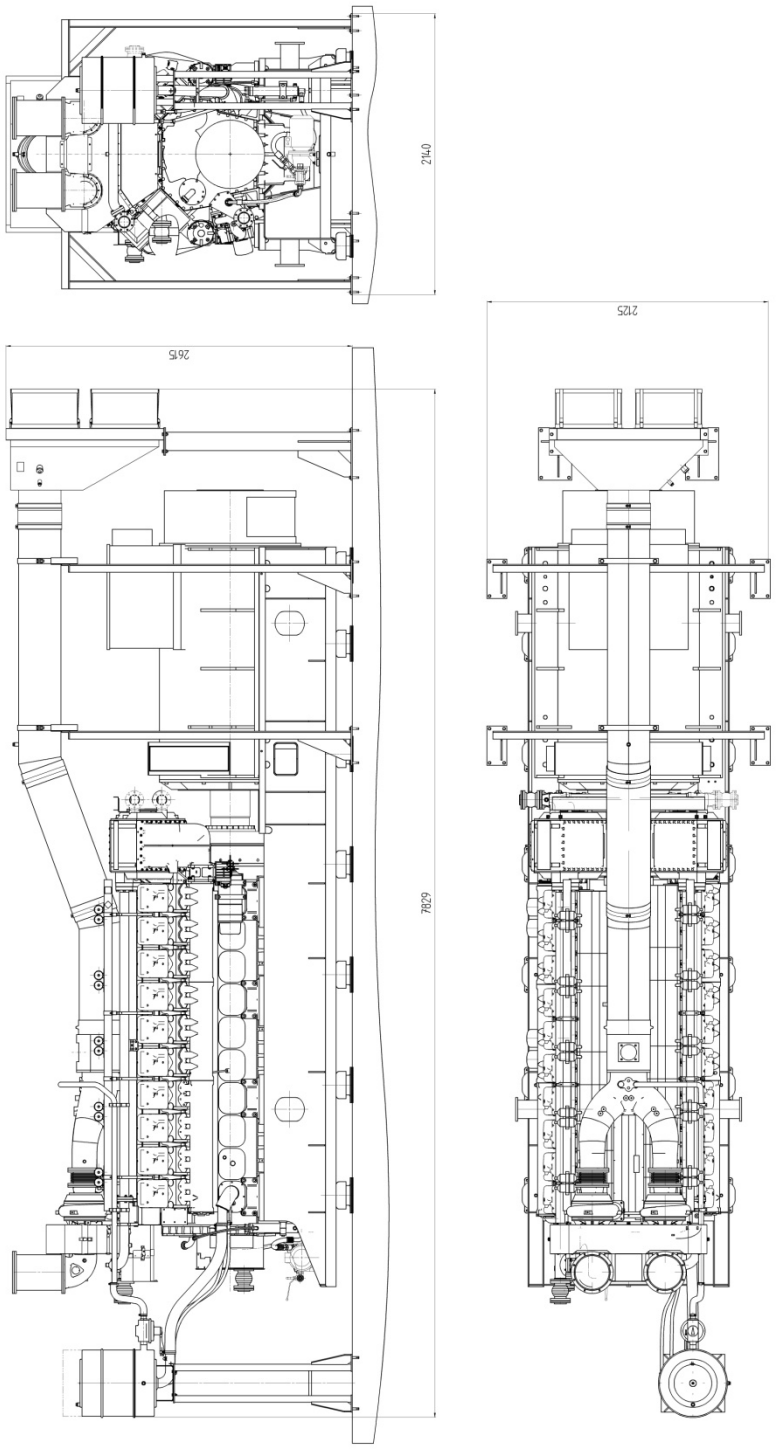
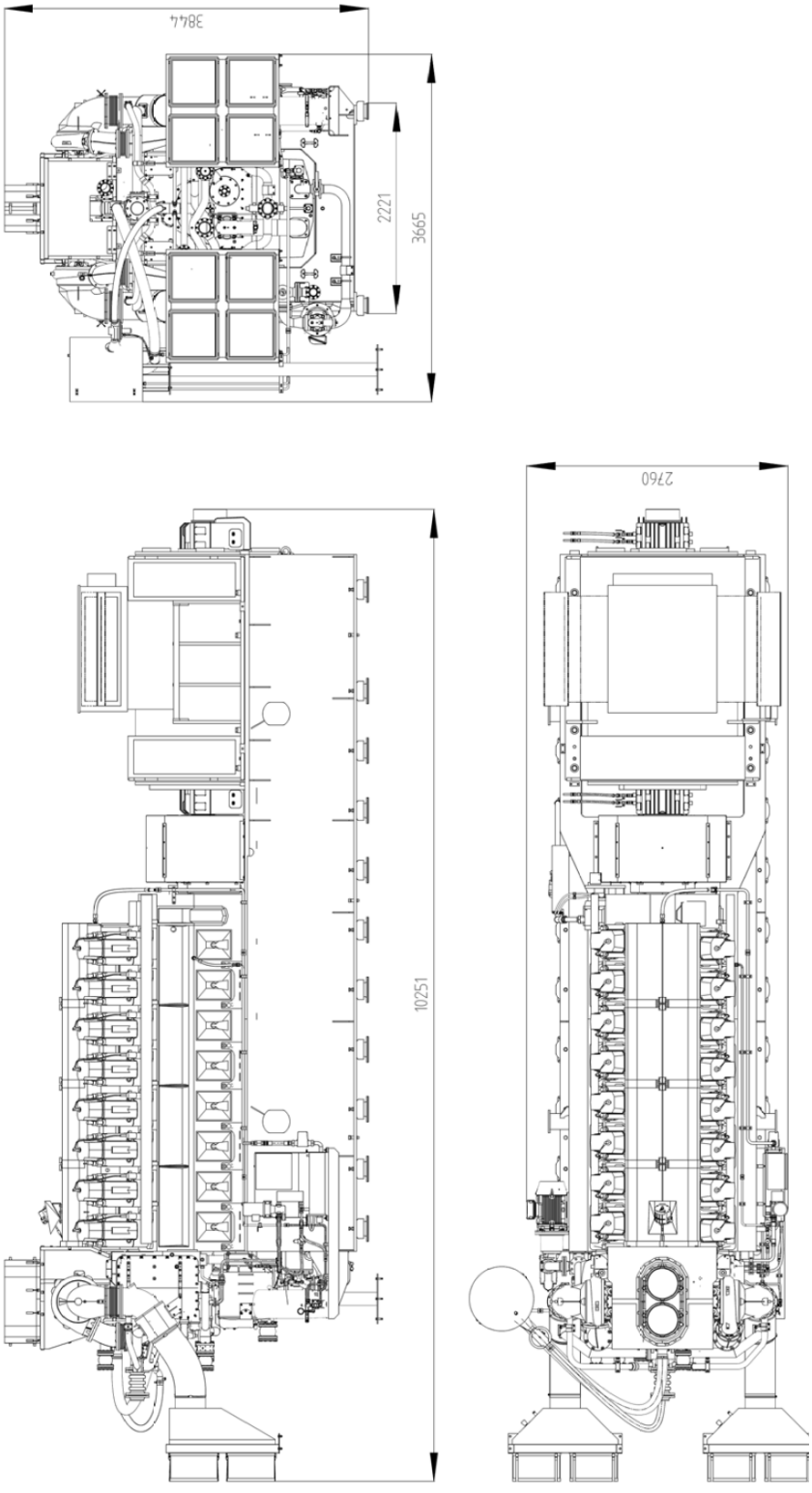


Abb. 3.8 **Motor TCG 2032 V16 mit Marelli Generator MJH 800 MC6**
Aggregategewicht ca. 51400 kg (Transport)



3.3 Generatoren

3.3.1 Allgemeines

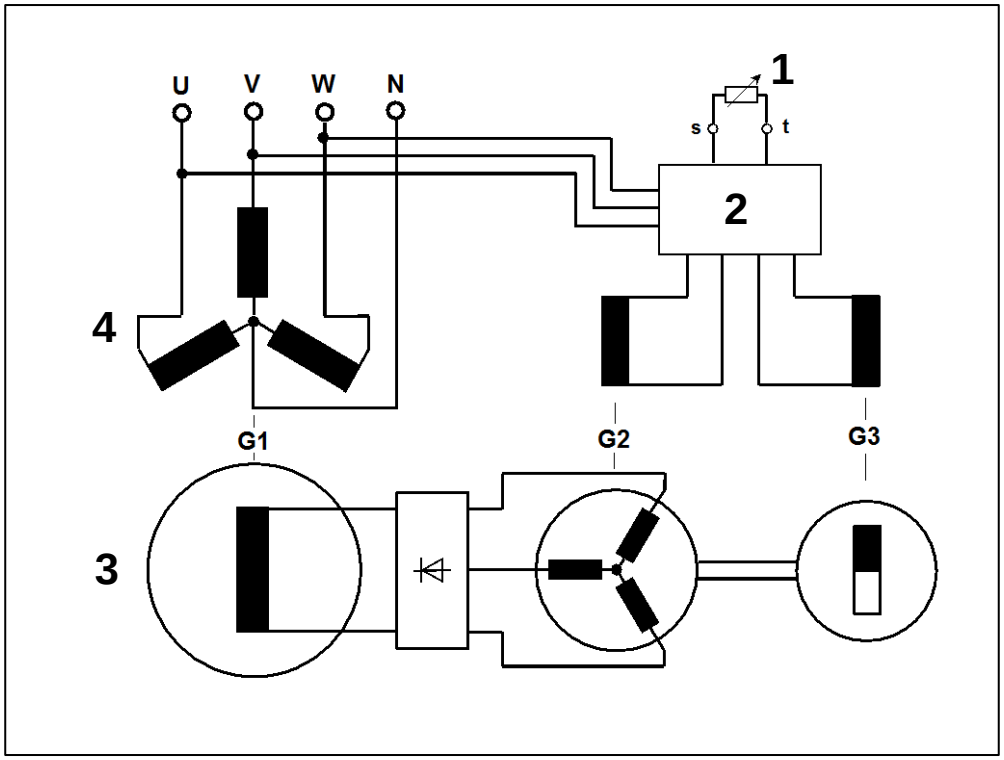
Zum Einsatz kommen standardmäßig bürstenlose Synchrongeneratoren, die je nach Einsatzfall für den Netzparallelbetrieb und/ oder Ersatzstrombetrieb geeignet sind.
Je nach Leistungsgröße und vorhandenem Netz sind es Niederspannungs-Generatoren im Bereich von 400 V bis 690 V oder Mittelspannungs-Generatoren im Bereich von 3 kV bis 15 kV.
Die Wirkungsgrade der Generatoren liegen je nach Größe und cosphi-Wert zwischen 95,0 % und 97,8 %.
So hat z.B. ein 494 kVA-Generator bei einem cosphi-Wert von 0,8 einen Wirkungsgrad von 95,5 % und ein 5336 kVA Mittelspannungs-Generator bei einem cosphi-Wert von 0,8 einen Wirkungsgrad von 97,2 %. Wird der Generator bei einem cosphi-Wert von 1 betrieben, so erhöht sich der Wirkungsgrad um ca. 1-1,5 %.
Die Generatoren sind nach DIN VDE 0530 / DIN EN 60034 für eine Umgebungstemperatur von 40°C und einer Aufstellhöhe von 1000 m ausgelegt. Bei höheren Umgebungstemperaturen bzw. einer höheren Aufstellung ist eine Leistungsreduktion gemäß den Herstellerangaben notwendig.
Die Generatoren können standardmäßig im Leistungsfaktorbereich von 0,8 - 1 induktiv eingesetzt werden. Somit kann man bei Netzparallelbetrieb den Netzübergabe-cosphi-Wert verbessern, falls die Generatoren als „Phasenschieber“ eingesetzt werden.
Für den Einsatz im kapazitiven Bereich ist der Generator speziell auszulegen! Für die statische und dynamische Netzstützung gibt es länderspezifisch unterschiedliche Vorgaben, die bei der Auslegung der Gasmotorenaggregate berücksichtigt werden müssen.
Im Ersatzstrombetrieb ist die max. zulässige Schieflast des Generators zu beachten. (Je nach Generatorleistung und Hersteller bei ca. 30 % zwischen höchstem und niedrigstem Phasenstrom)

Abb. 3.9 Generator

3.3.2 Generatorspannungsregelung

Der Spannungsregler dient zur Konstanthaltung der Generatorspannung. Der Spannungsregler ist in der Regel im Generatorklemmenkasten eingebaut oder befindet sich in der Schaltanlage. Den systematischen Aufbau zeigt Abbildung 3.10.

Abb. 3.10 Generatorspannungsregelung



1	Sollwerteinsteller
2	Spannungsregler
3	Rotor
4	Stator
G1	Drehstrom-Hauptmaschine
G2	Drehstrom-Erregermaschine
G3	Hilfs-Erregermaschine

3.3.2.1 Allgemeine Funktion des Spannungsreglers

Die Hilfserregermaschine G3 versorgt über das Stellglied des Spannungsreglers die Erregerwicklung der bürstenlosen Drehstrom-Erregermaschine G2 mit Spannung. Die von der dreiphasigen Rotor-Wicklung erzeugte Spannung wird in einer aus Siliziumdioden bestehenden Drehstrom-Brückenschaltung gleichgerichtet und als Gleichstrom dem Polrad des Generators G1 zugeführt. Die Spannungskonstanthaltung des Hauptgenerators bei wechselnder Belastung erfolgt durch Änderung des Erregerstromes.

3.3.2.2 Einstellung des Sollwertstellers

Der Spannungsregler erhält seinen Spannungssollwert über den Sollwertsteller und den Istwert der Generatorklemmenspannung über die Statorklemmen U,V,W. Das Nachregeln der Generatorklemmen-spannung erfolgt durch Verändern des Erregerstromes. Die Größe der Abweichung zwischen Spannungs-Soll- und Spannungs-Ist-Wert bestimmt die Änderung des Erregerstromes.
Vor Ort muss der Sollwertsteller auf das vorhandene Spannungsniveau eingestellt werden. Der Einstellbereich des Sollwertstellers liegt je nach Generatorausführung im Bereich von 5 – 10% der Generatornennspannung.

3.3.3 Generatorschutz

Zum Schutz der Generatoren sind die Überwachungseinrichtungen nach ISO 8528 einzusetzen.
Diese Überwachungseinrichtungen sind nicht im TEM-System enthalten.

3.3.3.1 Überwachungseinrichtungen für den Generator nach ISO 8528 Teil 4

Nachfolgende Generatorüberwachungseinrichtungen sind in der Schaltanlage zwingend erforderlich:

- Schutz bei Kurzschluss
- Schutz bei Überlast

Folgende Schutzeinrichtungen werden dringend empfohlen:

- Schutz bei verzögertem Überstrom
- Schutz bei spannungsabhängigem Überstrom
- Schutz bei richtungsabhängigem Überstrom
- Rückleistungsschutz
- Netztrenneinrichtung
- Blindstrombegrenzung
- Differentialstromschutz

Außerdem sind folgende Schutzeinrichtungen zu empfehlen:

- System-Erdschlussschutz
- Stator-Erdschlussschutz
- Schieflastschutz

3.3.4 Erdung

Der Generator ist durch ein Erdungsband mit dem Grundrahmen verbunden. Der Erdanschluss des Aggregates ist am Erdungssystem der BHKW-Anlage anzuschließen.
Die lokalen Vorschriften des EVU oder die Sicherheitsvorschriften sind zu beachten, um sicherzustellen, dass eine korrekte Erdung des Aggregates durchgeführt wird.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 4

Anforderungen für die Aufstellung des Aggregates

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

4. Anforderungen für die Aufstellung des Aggregates 3
4.1 Aggregateraum 3
4.1.1 Standort 3
4.1.2 Anforderungen an den Aggregateraum 3
4.2 Fundamentierung und Schwingungsdämpfung 5
4.2.1 Fundamentblock 5
4.2.2 Elastische Lagerung 6
4.2.3 Beurteilung von Schwingungen 7
4.2.4 Kabel - und Rohrkanäle 7
4.3 Geräuschfragen 7
4.3.1 Akustische Abhängigkeiten 8
4.3.2 Möglichkeiten der Geräuschminderung 10
4.3.3 Schallangaben in Aggregate-Datenblättern 11
4.3.3.1 Umrechnung Schalleistungspegel in Schalldruckpegel 13
4.3.3.2 Messflächen für das Aggregat 13
4.3.3.3 Messflächen beim Abgasschall 14
4.3.3.4 Beispiele Umrechung Schallleistungspegel – Schalldruckpegel 15

4. Anforderungen für die Aufstellung des Aggregates

4.1 Aggregateraum

Neben der sorgfältigen Auswahl und Leistungsermittlung des Aggregates müssen eine Reihe bauseits zu erstellender Voraussetzungen erfüllt sein, wenn ein sicherer, wartungsarmer und störungsfreier Betrieb erreicht werden soll.
Es müssen deshalb bereits im Entwurfsstadium von Bauobjekten mit einem Energieerzeugungsaggregat die wichtigsten mit der Aufstellung und Installation des Aggregates zusammenhängenden Fragen geklärt werden. Spätere Änderungen und Sonderlösungen sind meistens teuer und oft unbefriedigend. Zukünftige Erweiterungen sollten von vornherein Berücksichtigung finden.

4.1.1 Standort

Die Planung beginnt mit der Ortswahl für die Aufstellung des Aggregates. Um Verluste bei der Energieübertragung zum Verbraucher möglichst gering zu halten, ist eine Anordnung in dessen Nähe sinnvoll. Geräusch - und Schwingungsanforderungen führen aber oft dazu, Aggregate abseits vor allem von Wohngebäuden, aufzustellen.
Bei einem eigenen Gebäude für die Energieerzeugung sind die Fragen der Raumbelüftung, Schwingungsisolierung, Zuführung und Lagerung von Kraftstoffen, als auch die Einbringung und Zugänglichkeit in der Regel leichter zu lösen.
Aggregateräume in großen Gebäuden, wie z. B. Kaufhäusern, Krankenanstalten und Verwaltungsbauten sind möglichst an eine Außenwand zu legen, damit sich die Luft zur Kühlung und Raumbelüftung ohne Schwierigkeiten zu- und abführen lässt. Der Aggregateraum kann dabei ebenerdig, unterirdisch oder bei kleineren Aggregaten auch in höheren Stockwerken eingeplant werden.
Bei der Auswahl der Baumaterialien ist die notwendige Schalldämmung und Schwingungsdämpfung zu berücksichtigen.

4.1.2 Anforderungen an den Aggregateraum

Der Aggregateraum soll ausreichend groß bemessen sein. In zu kleinen Räumen ist, von der erschwerten Bedienung und Wartung abgesehen, auch das Belüftungsproblem nur schwierig zu lösen.
Ein freier Raum bei TCG 2016 und 2020 von etwa 1 m Breite und 2 m bei größeren Motoren rings um das Aggregat sollte unter allen Umständen vorgesehen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Starterbatterien möglichst nahe am Elektroanlasser aufgestellt werden. Für den TCG 2032 ist eine freie, entsprechend belastbare Fläche (Vormontagebereich für die Zylindereinheiten) von 2 m mal 5 m mit Bekranung erforderlich. Idealerweise befindet sich dieser Bereich nahe am Motor, so dass dieser Vormontagebereich mit dem selben Kran erreichbar ist, wie der gesamte Motor selbst. Im übrigen wird die Raumgröße von den

weiteren Einbauten, wie z. B. Wärmenutzungseinheit, Schaltanlage, Gasregelstrecke, Kraftstoffbehälter, Ölbehälter, Batterie, Abgasleitung und Schalldämpfer bestimmt. Schalldämpfer für Zu- und Abluft beanspruchen ebenfalls erheblichen Raum. Öffnungen für die Einbringung des Aggregates, sowie für die Be- und Entlüftung der Anlage (siehe Kapitel 5 Maschinenraumbelüftung) sind unbedingt in geeigneter Größe einzuplanen.

In keinem Aggregateraum sollte ein festinstalliertes Hebezeug (Kran) fehlen, dessen Tragfähigkeit dem Gewicht des schwersten im Raum vorhandenen Einzelteiles entspricht. Auf jeden Fall aber muss gewährleistet sein, dass bei Wartungsarbeiten je nach Motortyp z. B. Kolben, Pleuel, Zylinderkopf oder eine ganze Triebwerkseinheit angehoben werden kann. Sowohl die Montage als auch spätere Wartungsarbeiten lassen sich dadurch schneller und praktischer ausführen.

Der Aggregateraum soll so hoch sein, dass Kolben und Pleuelstangen unter Berücksichtigung eines Hebezeuges nach oben ausgezogen werden können. Länge und Breite müssen ein unbehindertes Arbeiten an allen Stellen des Aggregates ermöglichen und Platz zum Abstellen einzelner Aggregateteile und Ersatzteile lassen.

Zusammen mit der Planung des Aggregateraumes muss die elastische Aufstellung, die Ausführung des Fundamentblockes, die Verlegung der Rohrleitungen und der Kabel geklärt werden. Auch die Durchführung eventueller Sondermaßnahmen für den Schallschutz und zur Dämpfung von Schwingungen und Vibrationen zur Verringerung des Eintrages von Körperschallemissionen sind frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen.

Bei kleineren Aggregateleistungen können Aggregat und Schaltanlage in der Regel in einem Raum aufgestellt werden, bei größeren Anlagen ist eine getrennte Aufstellung der Schaltanlage in einem schallisolierten Bedienungsraum zweckmäßig.

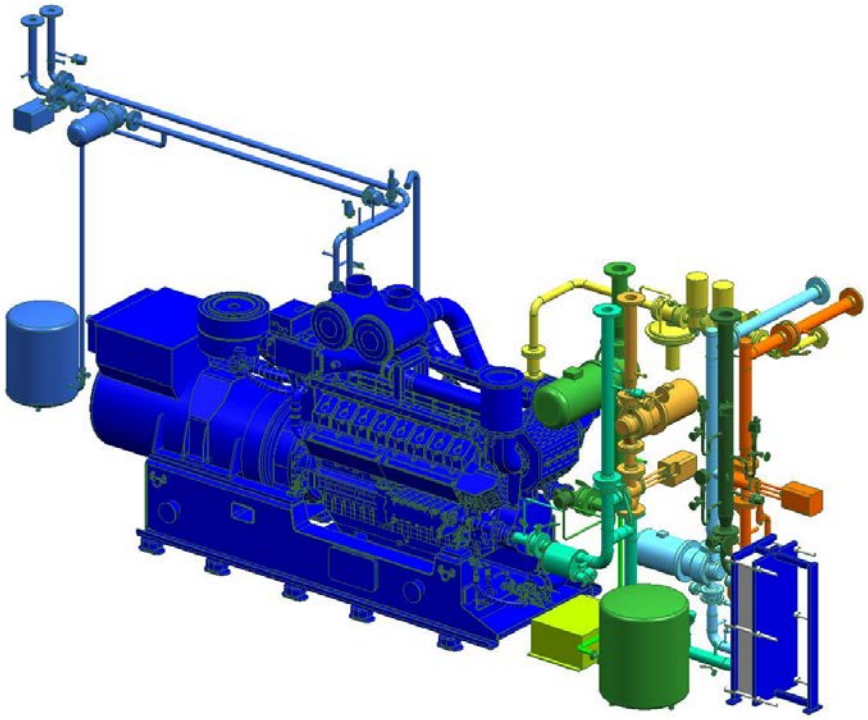
Bei der Planung des Aggregateraumes ist auch der Transportweg zu berücksichtigen, um einen Motor oder Generator bei Bedarf aus- und wieder einbringen zu können (Fußbodenbelastung und Platzverhältnisse).

Eine zweckmäßige und bewährte Aggregateaufstellung zeigt das Beispiel in Abbildung 4.1.

Ist die Zugänglichkeit zum Aggregat und den zugehörigen Komponenten durch z.B. einen zu klein dimensionierten Maschinenraum stark eingeschränkt, können auch bei Arbeiten im Rahmen der Gewährleistung des Herstellers Mehraufwendungen wegen schlechter Zugänglichkeit geltend gemacht werden.

Beim Betrieb und bei der Wartung des Aggregates kann unter Umständen Schmieröl und/oder Kühlflüssigkeit in den Aggregateraum gelangen. Im Entwässerungssytem des Aggregateraumes sind Rückhalteeinrichtungen vorzusehen, die eine Belastung der Umwelt durch diese Stoffe zuverlässig verhindern.

Abb. 4.1 Aufstellungsbeispiel TCG 2016 V16 C



Darüber hinaus ist der Hersteller gerne bereit, Interessenten vor Beginn der Detailplanungen weitere Unterlagen über Standardaufstellungen zur Verfügung zu stellen. Bei größeren Planungsaufgaben werden Bau- oder Bauentwurfszeichnungen erbeten.

4.2 Fundamentierung und Schwingungsdämpfung

Bei Aggregaten mit Kolbenmotoren können Massenkräfte und Massenmomente nicht in allen Fällen vollständig ausgeglichen werden. Die Übertragung der dadurch erzeugten Schwingungen und Geräusche auf das Fundament kann durch elastische Lagerungen wesentlich reduziert werden. Bei der Aufstellung von Aggregaten ist deshalb immer eine elastische Aggregatelagerung zwischen Grundrahmen und Fundamentblock vorzusehen.

4.2.1 Fundamentblock

Für die Fundamentgründung, die mit besonderer Sorgfalt vorgenommen werden muss, wird eine Bodenuntersuchung durch einen Fachmann empfohlen. Die hierfür aufgewendeten Kosten stehen in keinem Verhältnis zu den Aufwendungen, die für nachträgliche Maßnahmen, z. B. beim Auftreten einer Schwingungsübertragung auf die Nachbarschaft, notwendig werden können.
Unter dem Fundamentblock und in dessen Nähe sollen keine Grundwasseradern liegen, da diese Erschütterungen sehr weit fortleiten können. Dies gilt auch für hohen Grundwasserstand, bei dem

Schwingungen stärker als bei trockenem Boden übertragen werden. Je nach den örtlichen Bedingungen muss der Fundamentblock auf eine Sohlplatte oder auf einen Pfahlrost gesetzt werden.
Für die Ausführung und Gründung des Fundamentes ist auf jeden Fall die Baufirma bzw. der Architekt verantwortlich. Von diesen ist die Tragfähigkeit des Bodens zu beurteilen und die Festigkeit des Fundamentblockes durch Angabe der erforderlichen Betonmischung und Eisenarmierung den örtlichen Verhältnissen entsprechend festzulegen.
Zur Berechnung können Daten über die Fundamentbelastung durch das Aggregat sowie die Eigenfrequenzen der elastischen Lagerung dem Kunden zur Verfügung gestellt werden.
Der ausgeführte Fundamentblock sollte aus oben genannten Gründen generell keinerlei Berührung mit Grundmauern des Gebäudes oder dem Fußboden haben. Der Spalt zwischen Fundamentblock und Fußboden kann mit einem elastischen Material verschlossen werden. Zur Aufnahme der elastischen Lagerelemente muss die Fundamentoberfläche waagrecht und gescheibt, ohne Glattstrich, sein. Die Ebenheit der Fundamentoberfläche soll eine Toleranz von max. ± 2 mm haben. Ein Aufsetzen des Aggregates auf Fliesen bzw. Estrich u. ä. ist nicht zulässig.

4.2.2 Elastische Lagerung

Um eine möglichst große Schwingungs- und Körperschallisolierung des Aggregates gegenüber dem Fundament zu erreichen, werden Stahlfederlagerelemente verwendet. Mit diesen Lagerelementen wird eine Reduzierung der dynamischen Krafteinleitung in das Fundament erreicht. Die Isolierung tiefer Frequenzen in Gebäuden ist sehr wichtig. Auch dies wird mit einer weichen Stahlfederlagerung realisiert. Die Körperschallisolierung wird durch die Reflektierung an der Fußplatte des Lagers, bedingt durch die Trennung mittels Stahl / Gummiplatte, gesichert.
Die elastische Lagerung muss für jeden Anwendungsfall nachgerechnet werden. Die Eigenschwingungszahl des Systems Aggregat / elastische Lagerung muss weit genug unter der Betriebsdrehzahl des Aggregates liegen.
Mit den verwendeten Lagerelementen werden Isoliergrade von ca. 88 - 94 % erreicht.
Die bei den Aggregaten verwendeten Federelemente sind über einen gewissen Bereich in der Höhe verstellbar. Sie müssen richtig eingestellt werden, d.h. die Last auf jedem Element muss gleich groß sein. Falsch eingestellte Federelemente werden auf Dauer zerstört und die angestrebte Schwingungsisolation ist nicht gegeben. Federelemente können Unebenheiten des Fundamentes nur bedingt ausgleichen. Zu große Unebenheit des Fundamentes und falsch eingestellte Federelemente führen durch die ungleichmäßige Belastung zur Verformung des Aggregate-Grundrahmens. Das hat zur Folge, dass die Ausrichtung zwischen Generator und Motor nicht mehr optimal ist. Eine unkalkulierbare Zerstörung von Bauteilen kann die Folge sein.

4.2.3 Beurteilung von Schwingungen

Für Aggregate ist die DIN ISO 8528-9 heranzuziehen. Diese Norm behandelt die Messung und Bewertung der mechanischen Schwingungen bei Stromerzeugungsaggregaten mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren.

4.2.4 Kabel - und Rohrkanäle

Kühlwasser- und Abgasleitungen können in Kanälen unterhalb des Fußbodens verlegt werden. Die notwendigen Abmessungen sind der Größe der Rohrleitungen und den örtlichen Gegebenheiten anzupassen.
Generell ist darauf zu achten, dass Kanäle für Rohrleitungen und Kanäle für Kabel getrennt voneinander auszuführen sind, wobei nochmals zwischen Leistungskabel, Steuerkabel und Signalleitungen zu unterscheiden ist. Kanäle verlegt man mit Gefälle vom Fundamentblock weg und sieht an den tiefsten Stellen Entwässerungen mit Ölabscheidern vor. Die Abdeckung der Kanäle kann mit Linsenblech oder Gitterrosten erfolgen. Kanäle und Abdeckungen sind immer bauseits zu erstellen.

4.3 Geräuschfragen

Da die akustischen Anforderungen an die Aufstellung von Aggregaten mit Verbrennungsmotoren durch Gesetze und Verordnungen ständig wachsen, sei hier kurz auf die Zusammenhänge und Lösungsmöglichkeiten von Geräuschproblemen hingewiesen.
Geräuschquellen sind in der Hauptsache das Verbrennungsgeräusch des Motors, mechanische Motorgeräusche, Ansaug- und Abgasgeräusch des Motors. Die Ventilatoren, Pumpen und weitere Hilfsantriebe können ebenfalls Anlass zur Geräuschbelästigung geben.
Auch zu hohe Luftgeschwindigkeiten können Geräusche verursachen (siehe Kapitel 5.5 Planungshinweise).
Maßnahmen zur Geräuschminderung sind an der Geräuschquelle selbst nur schwer durchführbar. Deshalb zielen die meisten Maßnahmen darauf hin, die Geräuschübertragungen nach außerhalb des Aggregate-raumes zu reduzieren.

4.3.1 Akustische Abhängigkeiten

Geräusche setzen sich aus Druckwellen verschiedener Frequenzen zusammen. Sämtliche Geräuschmessungen sind also frequenzabhängige Druckmessungen. Geräusche niederer Frequenzen werden vom Menschen leichter ertragen als Geräusche höherer Frequenz. Schallwellen über 16.000 - 20.000 Hertz sind dagegen im allgemeinen durch das menschliche Gehör nicht mehr wahrnehmbar.
Aus der Notwendigkeit, die Lautstärke von Schallereignissen an verschiedenen Orten vergleichen zu müssen, wurden objektive Messverfahren entwickelt. Die Bewertung erfolgt nach bestimmten Frequenzkurven, wie sie in der DIN EN 61672-1 und DIN EN 61672-2 festgelegt sind. Dabei handelt es sich um Bewertungskurven A, B, C und D (Tab. 4.1). Die Bewertungskurven geben den Frequenzgang des Ohres für schmalbandige Geräusche etwas vereinfachter wieder. Die Kurve A im Bereich weniger lauter, die Kurven B und C in den Bereichen lauter und sehr lauter Geräusche. D gilt für Flugzeuggeräusche.

Tab. 4.1

Frequenz	Bewertungskurve			
Hz	A dB	B dB	C dB	D dB
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	-16,5
63	-26,2	-9,3	-0,8	-11,0
125	-16,1	-4,2	-0,2	-6,0
250	-8,6	-1,3	0,0	-2,0
500	-3,2	-0,3	0,0	0,0
1000	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	1,2	-0,1	-0,2	8,0
4000	1,0	-0,7	-0,8	11,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0	6,0

Motorengeräusche werden normalerweise in dB(A) bewertet.
Ein Messwert bei 125 Hz wird z. B. um 16,1 dB leiser empfunden, als ein gleicher Messwert bei 1000 Hz.
Die Stärke des Geräusches ist abhängig vom Messabstand und vom Aufstellungsort. Bei kleinem Messabstand von der Geräuschquelle nimmt der Schalldruckpegel zu und bei größerem Abstand wird der Schalldruckpegel geringer. Man nennt diese Pegelabnahme auch Ausbreitungsdämpfung.

Für punktförmige Quellen gilt:

$$L_{(r2)} = L_{(r1)} - 10\log\left(\frac{r2}{r1}\right)^2$$

L(r1) = Schalldruckpegel 1 L(r2) = Schalldruckpegel 2
r1 = Abstand 1 r2 = Abstand 2

Beispiel:

$$L_{(r2)} = 70 - 10\log\left(\frac{20}{10}\right)^2 = 64\ \text{dB}$$

L(r1) = 70 dB r1 = 10 m r2 = 20 m

Bei einer Abstandsverdoppelung nimmt der Schalldruckpegel um 6 dB ab.
Bei Anlagen mit mehreren Aggregaten ist der Summengeräuschpegel nach den Gesetzmäßigkeiten der Akustik zu ermitteln:

$$L_{\Sigma} = 10\log\sum_{i=1}^{n} 10^{\frac{Li}{10}}$$

L_{Σ} = Summenpegel L_i = Einzelpegel

Beispiel:

$$L_{\Sigma} = 10\log\left(10^{\frac{70,5}{10}} + 10^{\frac{71,5}{10}} + 10^{\frac{72,5}{10}} + 10^{\frac{75,5}{10}} + 10^{\frac{77,0}{10}}\right) = 81,1\ \textbf{dB}$$

L_1 = 70,5 dB L_2 = 71,5 dB L_3 = 72,5 dB
L_4 = 75,5 dB L_5 = 77,0 dB

Bei Addition n gleicher Pegel L gilt vereinfacht:

$$L_{\Sigma} = L + 10 \log n$$

Bei Addition von 2 gleichen Schallpegeln ergibt sich eine Pegelerhöhung von 3 dB.

Wird ein Aggregat im geschlossenen Raum aufgestellt, steigt das Geräusch gegenüber dem Freien infolge behinderter Schallausbreitung an. In kleinen Räumen ohne Akustikmaterial ist die Geräuschverteilung fast überall gleich.
Akustisch vorteilhaft sind große Räume mit schallweichen Wänden, also keine Fliesen oder ähnliches Baumaterial.

4.3.2 Möglichkeiten der Geräuschminderung

Normale Wandstärken von 24 cm oder 36 cm dämpfen das von innen kommende Geräusch bereits um 40 bis 50 dB. Für die Zu- und Abluftkanäle sind allerdings 2 bis 3 m lange Schalldämmstrecken vorzusehen, mit einer Dämpfung von etwa 40 dB. Unter Beachtung der Kühlluftmenge (siehe Kapitel 5 Maschinenraumbelüftung), soll in der Schalldämmstrecke die Luftgeschwindigkeit druckseitig ca. 8 m/s und saugseitig ca. 6 m/s nicht überschreiten.
Werden in den Aggregateraum Akustikmaterialien wie Schalldämmplatten eingebracht, so ist eine Lärmpegelabsenkung von ca. 3 dB, bei größerem Aufwand von ca. 10 dB zu erreichen. Besondere Sorgfalt sollte auf die Beherrschung des Abgasgeräusches gelegt werden. Mit geeigneten Schalldämpfern lassen sich auch hier Geräuschabsenkungen bis ca. 60 dB erreichen.
Schalltechnische Fragen können, da sie sehr stark von den örtlichen Verhältnissen abhängen, nur individuell gelöst werden. Hierzu stellt der Hersteller Oktavanalysen für das Abgas- und Motorgeräusch zur Verfügung.
Die Ausführung von Schalldämmmaßnahmen sollte in Zusammenarbeit mit Spezialfirmen gelöst werden.

Maßnahmen können z. B. sein :

- Abgasschalldämmung durch Reflexionsdämpfer, Absorptionsdämpfer, aktive Schalldämpfung
- Körperschallisolierende Aufstellung des Aggregates
- Anordnung von Absorptionskulissen für die Zu- und Abluftöffnungen des Aggregateraumes
- Schalldämmende Kapselung des Aggregates
- Schallisolierung des Aggregateraumes und Einbau eines schwimmenden Bodens (durch Spezialfirmen).

Zur Rauminnenauskleidung dürfen keine Faserstoffe (z.B. Heraklit) verwendet werden. Durch Luftschwingungen lösen sich Partikel und verstopfen die Luftfilter und können auch den Motor zerstören.
Für die Gebäudeschalldämmung ist nicht nur das Mauerwerk sondern auch Fenster, Türen usw. zu berücksichtigen.
Bei der schalltechnischen Betrachtung sind zusätzliche Schallquellen wie Hilfsantriebe oder Tischkühler, die außerhalb des Maschinenraumes stehen, mit einzubeziehen. Auch Gasregelstrecken, Vordruckregelstrecken oder Nulldruckregelstrecken, die außerhalb des Maschinenraumes oder außerhalb einer Schallkapsel installiert werden, können eine zusätzliche Lärmquelle darstellen und müssen bei der schalltechnischen Auslegung berücksichtigt werden.

4.3.3 Schallangaben in Aggregate-Datenblättern

In den Aggregate-Datenblättern werden die Schallwerte für Luftschall und Abgasschall als Schallleistungspegel angegeben. Für den Luftschall gibt es Terzspektren, für den Abgasschall Oktavspektren. Die angegeben Pegel in den Terz- und Oktav-Bändern sind lineare Pegel, d.h. es wurde keine Korrektur nach einer der Bewertungskurven A,B,C und D vorgenommen. Die Gesamtschallpegel sind als Summenpegel mit einer A-Bewertung der Einzelpegel angegeben. In Tabelle 4.2 sind die Korrekturwerte nach Bewertung A,B,C und D für die Terzbänder aufgelistet.

Abb. 4.2 Schalldaten für einen TCG 2020 V12

Frequency band f [Hz]	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	12.5k	16k	L_{WA} [dB(A)]	S [m^2]
Air-borne noise [4] $L_{W,Terz}$ [dB(lin)]	94	95	98	100	106	109	108	109	106	115	115	115	109	110	109	109	109	108	108	108	107	109	103	102	114	107	101	104	98	121	114
Exhaust noise [5] $L_{W,Octave}$ [dB(lin)]				128			135			134			131			123			122			120			119					132	15,5

4) DIN EN ISO 3746 5) DIN 45635-11 Appendix A (±3 dB) L_W: Sound power level S: Area of measurement surface (S_0=1m^2)

Tab. 4.2 Korrekturwerte für die Terzbänder nach Kurven A,B,C und D

Frequenz	Bewertungskurve			
Hz	A dB	B dB	C dB	D dB
25	-44,7	-20,4	-4,4	-18,5
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	-16,5
40	-34,6	-14,2	-2,0	-14,5
50	-30,2	--11,6	-1,3	-12,5
63	-26,2	-9,3	-0,8	-11,0
80	-22,5	-7,4	-0,5	-9,0
100	-19,1	-5,6	-0,3	-7,5
125	-16,1	-4,2	-0,2	-6,0
160	-13,4	-3,0	-0,1	-4,5
200	-10,9	-2,0	0,0	-3,0
250	-8,6	-1,3	0,0	-2,0
315	-6,6	-0,8	0,0	-1,0
400	-4,8	-0,5	0,0	-0,5
500	-3,2	-0,3	0,0	0,0
630	-1,9	-0,1	0,0	0,0
800	-0,8	0,0	0,0	0,0
1000	+0,0	0,0	0,0	0,0
1250	+0,6	0,0	0,0	+2,0
1600	+1,0	0,0	-0,1	+5,5
2000	+1,2	-0,1	-0,2	8,0
2500	+1,3	-0,2	-0,3	+10,0
3150	+1,2	-0,4	-0,5	+11,0
4000	+1,0	-0,7	-0,8	11,0
5000	+0,5	-1,2	-1,3	+10,0
6300	-0,1	-1,9	-2,0	+8,5
8000	-1,1	-2,9	-3,0	+6,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4	+3,0

4.3.3.1 Umrechnung Schalleistungspegel in Schalldruckpegel

Die Schallleistung ist eine entfernungs- und raumunabhängige Größe, die sich als Ausgangspunkt für alle schalltechnischen Berechnungen eignet. Sie ist nicht direkt messbar und wird über vorgegebene Messverfahren ermittelt.
Der Schallleistungspegel L_W ist für eine Schallquelle die kennzeichnende schalltechnische Größe. Im Gegensatz zum Schalldruckpegel L_p ist der Schallleistungspegel L_W vollkommen unabhänging vom Schallfeld, also unabhängig von der Größe des Raumes und der Entfernung zur Quelle. Die abgestrahlte Schallleistung einer Geräuschquelle wird hier durch die Messung des Schalldruckes an mehreren Stellen einer geschlossenen Messfläche S bestimmt. Mit den auf der definierten Hüllfläsche gemessenen Schalldrücken wird die Schallleistung einer Quelle berechnet. Mit der ermittelten Schallleistung lassen sich die Schalldruckpegel in beliebiegen Abständen zur Schallquelle berechnen.

Für den Schalldruckpegel im Abstand x von der Schallquelle gilt folgende Beziehung:

$$L_p = L_W - 10 * \log (S/S_0) \quad [dB]$$

Bei Angabe mit A-bewerteten Pegeln ergibt sich:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 * \log (S/S_0) \quad [dB(A)]$$

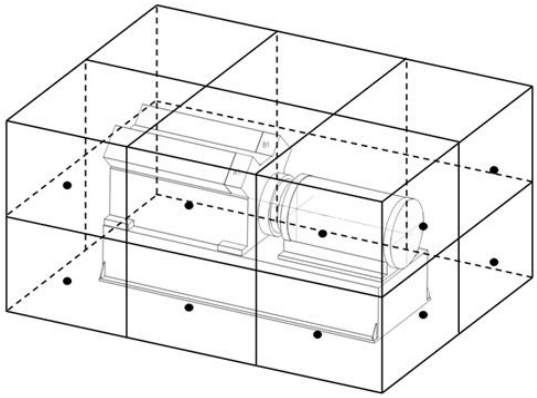
Dabei sind:

L_p	Schalldruckpegel, linear (ohne Bewertung)
L_{pA}	Schalldruckpegel, Bewertung nach Kurve A
L_W	Schallleitungspegel, linear (ohne Bewertung)
L_{WA}	Schallleistungspegel, Bewertung nach Kurve A
S	Messfläche im Abstand x zur Schallquelle
S_0	Bezugsfläche, immer 1m²

4.3.3.2 Messflächen für das Aggregat

Bei der Ermittlung des Schallleistungspegels für das Aggregat wird von einer quaderförmigen Messfläche im Abstand von einem Meter zum Aggregat ausgegangen, siehe Abb. 4.3. Die Messfläche wird in ein Raster mit jeweils einem Messpunkt im Mittelpunkt der einzelnen Rasterflächen aufgeteilt. Dieses Verfahren entspricht der DIN EN ISO 3476.

Abb. 4.3 Quaderförmige Messfläche für das Aggregat



4.3.3.3 Messflächen beim Abgasschall

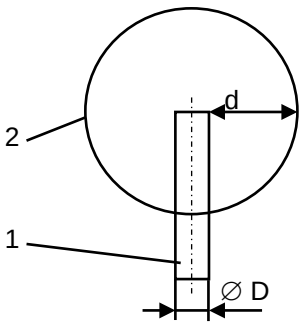
Beim Abgasschall wird von einer kugelförmigen Messfäche in einem Meter Abstand von der Außenkante des Abgassorhres ausgegangen. Die Oberfläche der Messfläche ergibt sich dann mit der Gleichnung:

$$S = 4 * \pi * (D/2 + d)^2 \quad [m^2]$$

Dabei sind:

S	Messfläche [m²]
D	Durchmesser des Abgasrohres [m]
d	Messabstand [1 m]

Abb. 4.4 Kugelförmige Messfläche für das Abgas



1	Abgasrohr
2	Messfläche S

4.3.3.4 Beispiele Umrechung Schallleistungspegel – Schalldruckpegel

Beispiel 1:
Wie hoch ist der Schalldruckpegel für ein Aggregat TCG 2020 V12 in 1 Meter und 10 Meter Abstand?

Der Schallleistungspegel des Aggregates ist im Datenblatt mit 121 dB(A) angegeben.
Die Messfläche S in 1 Meter Abstand ist im Datenblatt mit 114 m² angegeben.

Die Basisabmessungen eines Aggregates TCG 2020 V12 sind:

Länge L	[m]	5,7
Breite B	[m]	2,1
Höhe H	[m]	2,5

Ein äquivalenter Quader in 10 m Abstand hat dann die Abessungen:

Länge L	[m]	5,7 + 2*10
Breite B	[m]	2,1 + 2*10
Höhe H	[m]	2,5 + 10

Das ergibt dann eine Messfläche S von ca. 1763 m² in 10 Meter Abstand.
Daraus erhält man mit oben angegebener Gleichung:

Schalldruckpegel in 1 Meter Abstand:

$L_{pA} = L_{WA} - 10 * \log (S/S_0)$
$L_{pA} = 121 - 10 * \log (114/1)$
$L_{pA} = 121 - 10 * \log 114 = 121 – 10 * 2,06$
$L_{pA} = 100,4$ dB(A)

Schalldruckpegel in 10 Meter Abstand:

$L_{pA} = L_{WA} - 10 * \log (S/S_0)$
$L_{pA} = 121 - 10 * \log (1763/1)$
$L_{pA} = 121 - 10 * \log 1763 = 121 – 10 * 3,25$
$L_{pA} = 88,6$ dB(A)

Beispiel 2:
Wie hoch ist der Abgas-Schalldruckpegel für ein Aggregat TCG 2020 V12 in 1 Meter und 10 Meter Abstand vom Abgasaustritt?
Der Schallleistungspegel für das Abgas ist im Datenblatt mit 132 dB(A) angegeben.
Die Bezugsfläche S für eine Kugeloberfläche mit einem Radius von 1 m ist im Datenblatt mit 15,5 m² angegeben.

Die Oberfläche S einer Kugel mit 10 Meter Radius beträgt 1257 m²:
Daraus erhält man mit oben angegebener Gleichung:

Schalldruckpegel in 1 Meter Abstand von Rohraußenwand:

$L_{pA} = L_{WA} - 10 * \log (S/S_0)$
$L_{pA} = 132 - 10 * \log (15{,}5/1)$
$L_{pA} = 132 - 10 * \log 15{,}5 = 132 – 10 * 1{,}19$
$L_{pA} = 120{,}1$ dB(A)

Schalldruckpegel in 10 Meter Abstand:

$L_{pA} = L_{WA} - 10 * \log (S/S_0)$
$L_{pA} = 132 - 10 * \log (1257/1)$
$L_{pA} = 132 - 10 * \log 1257 = 132 – 10*3{,}1$
$L_{pA} = 101$ dB(A)

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 5

Maschinenraumbelüftung

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

5.	**Maschinenraumbelüftung**	**3**
5.1	Belüftungssysteme	4
5.1.1	Drückendes System (empfehlenswert)	4
5.1.2	Saugendes System (nicht empfehlenswert)	4
5.1.3	Kombiniertes System (empfehlenswert)	4
5.1.4	Lüftung mit frequenzgeregelten Ventilatoren	5
5.1.5	Umluftregelung	5
5.2	Ermittlung des Luftbedarfs	8
5.2.1	Verbrennungsluftbedarf des Motors	8
5.2.2	Kühlluftbedarf des Motors und der Komponenten	8
5.3	Ermittlung der Strahlungswärmen	9
5.3.1	Motorstrahlungswärme	9
5.3.2	Generatorstrahlungswärme	9
5.3.3	Strahlungswärme der Hilfseinrichtungen	9
5.3.4	Strahlungswärme der Wärmenutzeinheit	9
5.3.5	Gesamte Strahlungswärme	10
5.3.6	Erforderlicher Luftbedarf (ohne Verbrennungsluftmenge des Motors)	10
5.4	Komponenten des Lüftungssystems	12
5.4.1	Wetterschutzgitter	12
5.4.2	Schalldämmkulissen	12
5.4.3	Jalousien	12
5.4.4	Filter	12
5.4.5	Ventilatoren	13
5.4.6	Luftkanäle	13
5.5	Planungshinweise	14
5.5.1	Luftwechselzahl	14
5.6	Hinweis zum Betrieb der Belüftungsanlage bei Gasmotoren	14
5.7	Position von Zu- und Abluftöffnungen	15

5. Maschinenraumbelüftung

Ein Maschinenraum wird durch Konvektion und Strahlung der installierten Motoren, Generatoren, der Wärmenutzungs- und der Rohrleitungssysteme erwärmt.

Zur Vermeidung unzulässig hoher Temperaturen für die Maschinen, deren Komponenten sowie für die Schaltanlage ist diese Wärme über ein Lüftungs-System abzuführen.

Ebenso muss bei Anlagen mit extrem niedrigen Umgebungstemperaturen dafür gesorgt werden, dass die jeweils laut Aggregatedatenblatt vorgeschriebenen Mindestansauglufttemperaturen für den Betrieb eingehalten werden. Hier empfiehlt es sich, die Strahlungswärme der Komponenten zur Aufwärmung des Maschinenraumes zu nutzen. In diesen Fällen sollte auch das Gebäude dicht sein und über eine gute Wärmeisolierung verfügen.

Insofern kommt dem Belüftungssystem, einerseits Abfuhr der Strahlungswärme im Sommer und andererseits Nutzung der Strahlungswärme zur Aufwärmung des Maschinenraumes im Winter, besondere Bedeutung zu.

Generell gilt: Ansauglufttemperaturen (sowie die Mindesttemperaturen) laut Aggregate-Datenblättern müssen eingehalten werden!.

Es ist sicherzustellen, dass die zulässige Starttemperatur nicht unterschritten wird. Siehe auch Kapitel 9.2 Anforderungen an die Verbrennungsluft.

Bei Mehrmotorenanllagen sollte nach Möglichkeit jedes Aggregat über ein eigenes regelbares Lüftungssystem verfügen.

Die ausführbaren Lüftungssysteme für die Maschinenräume lassen sich in drei Arten unterteilen (siehe Abb. 5.1):

5.1 Belüftungssysteme

5.1.1 Drückendes System (empfehlenswert)

Aus der Umgebung wird die Luft mit Umgebungstemperatur durch einen Ventilator angesaugt, durch den Maschinenraum gedrückt und über Abluftöffnungen wieder der Umgebung zugeführt. In dem Maschinenraum herrscht ein Überdruck.
Der Einsatz dieses Systems empfiehlt sich besonders in Umgebungen mit hoher Staubbelastung (Wüstenregionen). Durch den Überdruck im Maschinenraum wird vermieden, dass durch Undichtigkeiten in der Maschinenhauswand bzw. durch geöffnete Türen oder Fenster Staub in den Maschinenraum gelangt. Die eingesetzten Belüftungsanlagen sind mit entsprechenden Filtern zur Staubabscheidung auszurüsten, z.B. Trägheitsfilter, Taschenfilter, etc. Der mit den eingesetzten Zuluftfiltern zu erreichende Abscheidegrad muss dem Abscheidegrad eines Filters der Klasse G3 entsprechen. Siehe auch Kapitel 5.4.4.

5.1.2 Saugendes System (nicht empfehlenswert)

Die Umgebungsluft wird über das Zuluftsystem (Wetterschutzgitter, Filter, Schalldämmkulisse und Jalousie) dem Maschinenraum zugeführt, durchströmt den Maschinenraum, wird durch einen Ventilator abgesaugt und der Umgebung wieder zugeführt. In dem Maschinenraum herrscht Unterdruck.
Das Belüftungssystem ist auf der Saugseite so zu gestalten, dass der sich im Maschinenraum einstellende Unterdruck deutlich unter 1 mbar liegt. Bei zu hohem Unterdruck im Maschinenraum kann es besonders bei Gasmotorenanlagen, die Verbrennungsluft aus dem Maschinenraum saugen, zu Startschwierigkeiten kommen (siehe auch Kapitel 5.6 Hinweis zum Betrieb der Belüftungsanlage bei Gasmotoren). Weiterhin lassen sich die Türen des Maschinenraumes, die ja in Notfällen als Fluchttüren dienen und nach außen auf gehen, bei zu hohem Unterdruck nur schwer öffnen. Die Anlage arbeitet wie ein großer Staubsauger und durch Undichtigkeiten in den Maschinenraumwänden und –Fenstern wird ungefilterte Sekundärluft eingetragen, was auf Dauer auch zu einer erhöhten Verschmutzung des Maschinenraumes führt. Der mit den eingesetzten Zuluftfiltern zu erreichende Abscheidegrad muss dem Abscheidegrad eines Filters der Klasse G3 entsprechen. Siehe auch Kapitel 5.3.4.

5.1.3 Kombiniertes System (empfehlenswert)

Die Luft für die Maschinenraumbelüftung wird durch einen Zuluftventilator in den Maschinenraum eingeblasen und auf der Abluftseite durch einen weiteren Ventilator wieder abgesaugt. Durch eine geeignete Abstimmung des Zu- und Abluftsystems entspricht der Luftdruck im Maschinenraum etwa dem Umgebungsdruck.
Dieses System ist auf jeden Fall bei den Anlagen anzuwenden, bei denen sowohl auf der Zuluftseite wie auf der Abluftseite erhebliche Druckverluste vorhanden sind. Das ist besonders dort der Fall, wo die Luft für die Maschinenraumbelüftung über weite Strecken angesaugt und wieder abgeführt werden muss und

Komponenten wie Wetterschutzgitter, Schalldämmkulissen, Jalousien und Filter einen hohen Druckverlust erzeugen.

5.1.4 Lüftung mit frequenzgeregelten Ventilatoren

Bei Gasmotoren muss sich die Ansauglufttemperatur in einem relativ engen Bereich bewegen. Die im Datenblatt angegebene Mindestlufttemperatur darf nicht unterschritten werden, da sonst der Verdichter des Abgasturboladers pumpt. Motoren mit Abgas-Wastegate lassen einen weiteren Bereich der Ansauglufttemperatur zu.
Bei einem auf Sommerbedingungen ausgelegten Ventilator mit fester Drehzahl lassen sich im Winter die geforderten Mindestansaugtemperaturen für den Motor mitunter nicht mehr aufrechterhalten. Durch Anpassung des Belüftungsvolumenstromes und der Nutzung der Strahlungswärme von Motor und Generator kann mit frequenzgeregelten Ventilatoren die Ansauglufttemperatur auch bei sich verändernden Umgebungstemperaturen über eine Regelung in dem zulässigen Bereich gehalten werden. Die Regelung der Ansauglufttemperatur über die Anpassung des Belüftungsvolumenstromes ist bis zu Umgebungslufttemperaturen von ca. 0°C möglich, für tiefere Umgebungstemperaturen ist ein Umluftsystem erforderlich.

5.1.5 Umluftregelung

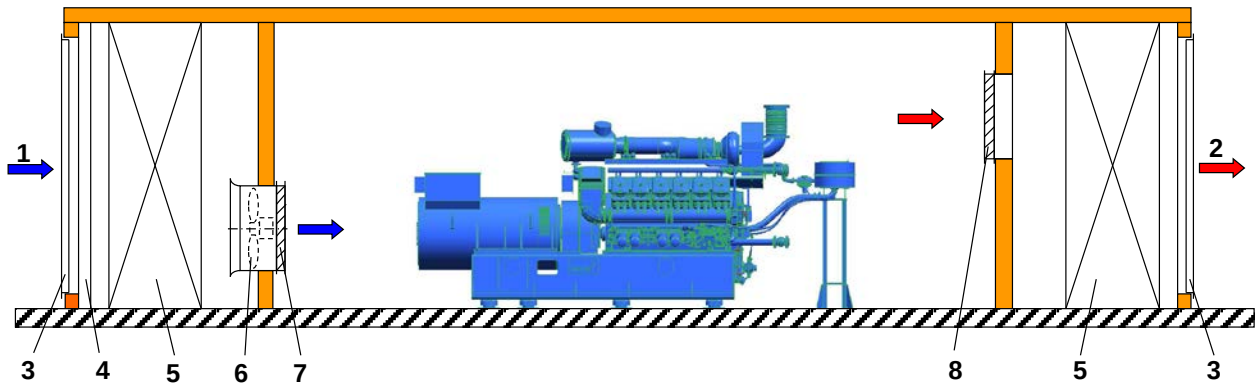
Zur Verhinderung von unzulässig niedrigen Temperaturen im Maschinenraum kann durch Beimischung von Abluft in die Zuluft die Temperatur im Maschinenraum geregelt werden.
Bei allen Systemen ist die Luftführung so zu gestalten, dass der gesamte Maschinenraum von Luft durchströmt wird, keine Kurzschluss-Strömungen von der Zuluftöffnung zur Abluftöffnung möglich sind und somit eine ausreichende Luftzirkulation an den wärmeabgebenden Komponenten stattfindet. Gegebenenfalls sind Luftkanäle einzubauen, die für eine gezielte Luftführung zu den Einzelkomponenten im Maschinenraum sorgen.

Um die im Maschinenraum anfallende Strahlungswärme und die damit erforderliche Luftmenge möglichst gering zu halten, müssen Schalldämpfer und Abgasleitungen innerhalb des Maschinenraumes isoliert werden. Die Isolierung von Abgassystemen ist generell innerhalb von Gebäuden notwendig.

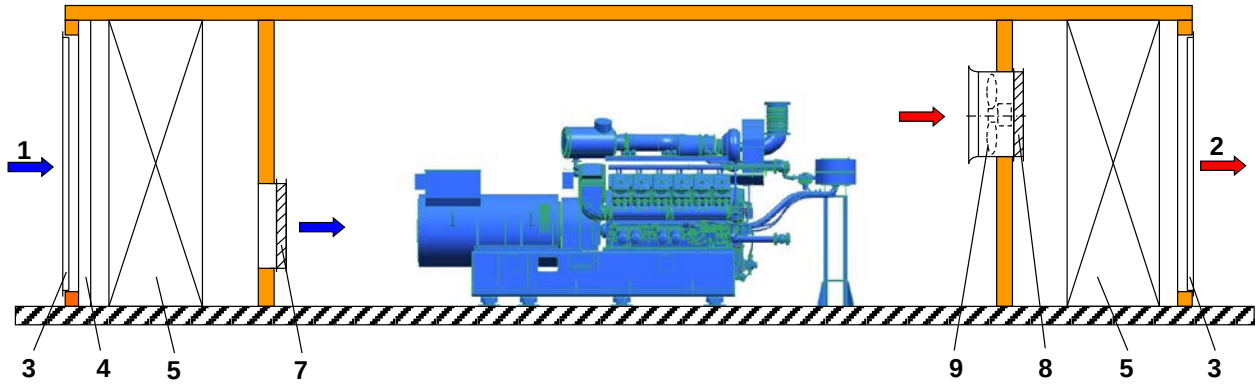
In vielen Fällen wird die Verbrennungsluft der Motoren aus dem Maschinenraum angesaugt. Hier ist bei der Auslegung der Zuluftventilatoren diese zusätzliche Luftmenge zu berücksichtigen. Je nach Ausführung der Anlage können die Luftfilter des Motors in Bereichen liegen, in denen bereits eine stärkere Erwärmung der Luft stattgefunden hat. In diesen Fällen ist die „kalte“ Luft über separate Lüftungskanäle vor die Luftfilter zu führen.

Abb. 5.1a Lüftungssysteme

Drückendes System



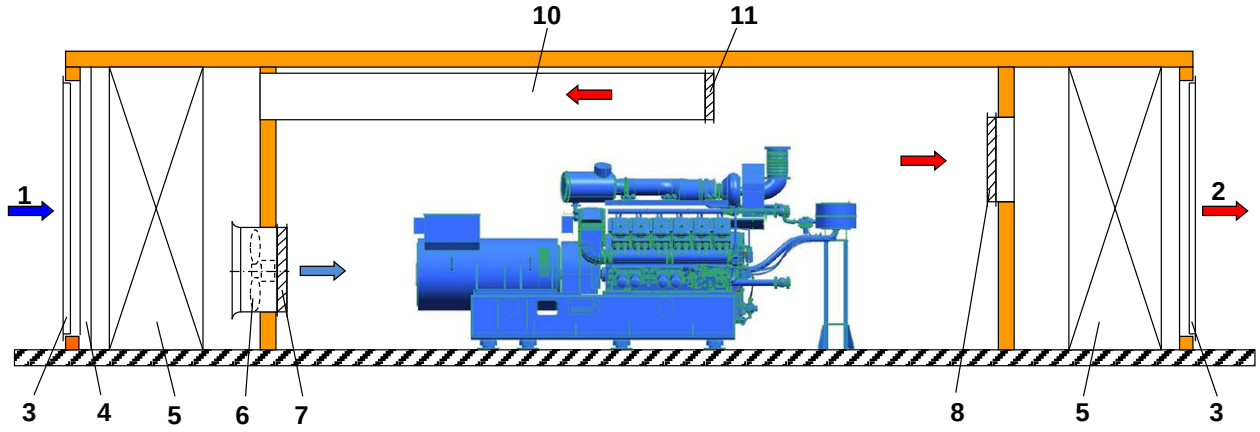
Saugendes System (nicht empfehlenswert)



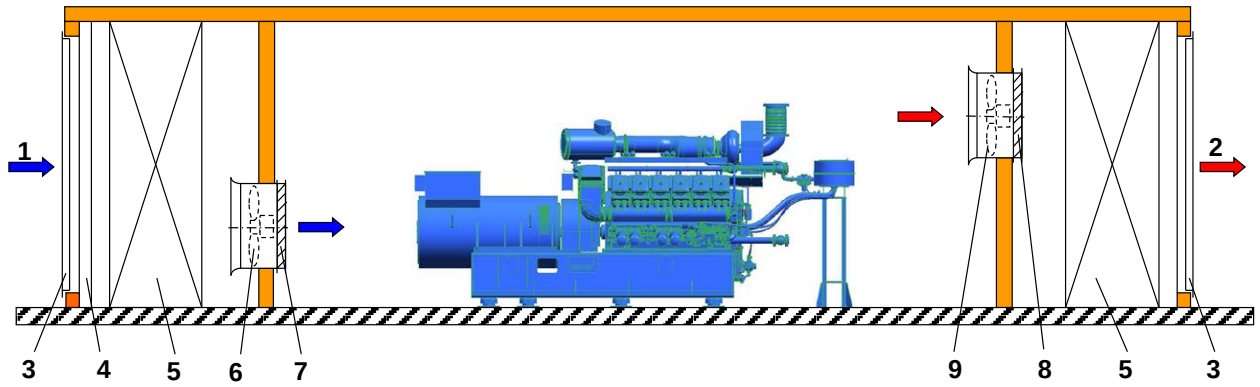
1	Zuluft
2	Abluft
3	Wetterschutzgitter
4	Filter
5	Schalldämmkulisse
6	Zuluftventilator
7	Zuluftjalousie
8	Abluftjalousie
9	Abluftventilator

Abb. 5.1b Lüftungssysteme

System mit Umluftreglung (empfehlenswert)



Kombiniertes System (empfehlenswert)



1	Zuluft
2	Abluft
3	Wetterschutzgitter
4	Filter
5	Schalldämmkulisse
6	Zuluftventilator
7	Zuluftjalousie
8	Abluftjalousie
9	Abluftventilator
10	Umluftkanal
11	Umluftjalousie

5.2 Ermittlung des Luftbedarfs

Der für die Auslegung eines Lüftungssystems zu ermittelnde Luftbedarf setzt sich aus folgenden Einzelbedarfen zusammen:

5.2.1 Verbrennungsluftbedarf des Motors

Wenn der Motor die Verbrennungsluft aus dem Maschinenraum ansaugt, muss diese über das Belüftungssystem des Maschinenraums zugeführt und bei der Auslegung berücksichtigt werden. Die Verbrennungslufttemperatur ist mit ein Einflussfaktor für die durch den Motor darstellbare Ortsleistung. Deshalb ist zu gewährleisten, dass die Lufttemperatur im Bereich der Ansaugung den für die Ermittlung der Ortsleistung festgelegten Wert nicht überschreitet, aber auch nicht unterschreitet.

5.2.2 Kühlluftbedarf des Motors und der Komponenten

Die Strahlungswärme des Motors, des Generators und weiterer wärmeabstrahlender Komponenten im Maschinenraum wie Pumpen, Separatoren, Wärmetauscher, Kessel usw. wird über das Belüftungssystem des Maschinenraumes abgeführt.
Wärmeabstrahlende Komponenten, die nur intermittierend in Betrieb sind, z.B. Kompressoren, können in den meisten Fällen bei der Ermittlung des Kühlluftbedarfs vernachlässigt werden.

5.3 Ermittlung der Strahlungswärmen

Zur Ermittlung des Luftbedarfs müssen zunächst die Strahlungswärmen von Motor und Generator ermittelt werden.

5.3.1 Motorstrahlungswärme

Die Strahlungswärme (Q_M) des Motors wird stets in den aktuellen Datenblättern ausgewiesen.

5.3.2 Generatorstrahlungswärme

Die Strahlungswärme des Generators (Q_G) wird in den aktuellen Datenblättern angegeben.

5.3.3 Strahlungswärme der Hilfseinrichtungen

Die Strahlungswärme der Rohrleitungen, insbesondere der Abgasleitungen, Abgas-Schalldämpfer, Kühler und Pumpenaggregate lassen sich nur mit großem Aufwand ermitteln. Diese Strahlungswärme liegt erfahrungsgemäß bei ca. 10 % der Motorstrahlungswärme.

$$Q_H = 0{,}1 * Q_M$$

Q_H	[kW]	Strahlungswärme der Hilfseinrichtungen
Q_M	[kW]	Strahlungswärme des Motors

5.3.4 Strahlungswärme der Wärmenutzeinheit

Werden die Bauteile zur Nutzung der Wärmeenergie im Aggregateraum aufgestellt, so liegt die Strahlungswärme von Kühlwasser- und Abgas-Wärmetauscher erfahrungsgemäß bei ca. 1,5 % der jeweiligen Nutzwärme gemäß Datenblatt.

$$Q_W = 0{,}015 * (Q_{KW} + Q_{Abg})$$

Q_{WN}	[kW]	Strahlungswärme der Wärmenutzeinheit
Q_{KW}	[kW]	Motor-Kühlwasser-Wärme
Q_{Abg}	[kW]	nutzbare Motor-Abgaswärme

5.3.5 Gesamte Strahlungswärme

Die gesamte Strahlungswärme QS ergibt sich aus den vorgenannten Strahlungsanteilen zu:

$$Q_S = Q_M + Q_G + Q_H + Q_W$$

Über die Maschinenraumwände wird je nach den Umgebungsbedingungen ein Teil der Strahlungswärme abgeführt. Dieser Anteil lässt sich auf Grund der wechselnden Verhältnisse wie z.B. Umgebungstemperatur oder Ausgestaltung der Maschinenraumwände nur schwer ermitteln und wird deshalb nicht berücksichtigt.

5.3.6 Erforderlicher Luftbedarf (ohne Verbrennungsluftmenge des Motors)

Danach ergibt sich letztendlich der erforderliche Luftbedarf als Funktion der gesamten Strahlungswärme, der zulässigen Temperaturerhöhung der Luft im Maschinenraum und der spez. Wärmekapazität der Luft:

$$m_{Lerf} = \frac{Q_S * 3600}{\Delta T * c_p}$$

m_{Lerf}	[kg/h]	erforderlicher Luftmassenstrom zur Kühlung
Q_S	[kW]	Gesamte Strahlungswärme
ΔT	[K]	zulässige Temperaturerhöhung
c_{pL}	[kJ/kgK]	spez. Wärmekapazität der Luft (1,005 kJ/kgK)

Die oben angegebene Beziehung liefert den erforderlichen Luftmassenstrom. Zur Ermittlung des erforderlichen Volumenstromes muss die Dichte der Luft berücksichtigt werden.
Die Dichte ist von der Lufttemperatur, dem Luftdruck und der relativen Luft-Feuchtigkeit abhängig. Der erforderliche Luftvolumenstrom ist:

$$V_{Lerf} = \frac{m_{Lerf}}{\rho_L}$$

m_{Lerf}	[kg/h]	erforderlicher Luftmassenstrom
V_{Lerf}	[m³/h]	erforderlicher Luftvolumenstrom
ρ_L	[kg/m³]	Dichte der Luft (z.B. 1,172 kg/m³ bei 1002 mbar und 25°C)

Der Luftdruck nimmt mit steigender geodätischer Höhe ab. In der folgenden Tabelle sind Drücke und Dichten in Abhängigkeit von Temperatur und geodätischer Höhe angegeben.

Die angegebenen Werte gelten für trockene Luft. Bei feuchter Luft nimmt die Dichte mit steigender relativer Luftfeuchtigkeit ab. Die Abnahme der Dichte kann bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60 % bis zu 10 % betragen.

Tab. 5.2

Luftdruck und Luftdichte in Abhängigkeit von geodät. Höhe bei 25°C								
Geodät. Höhe in m	Temperatur 25°C		Geodät. Höhe in m	Temperatur 25°C		Geodät. Höhe in m	Temperatur 25°C	
	mbar	kg/m³		mbar	kg/m³		mbar	kg/m³
0	1013	1,184	**700**	940	1,099	**1800**	835	0,976
100	1002	1,172	**800**	930	1,087	**2000**	817	0,955
200	991	1,159	**900**	920	1,075	**2200**	800	0,935
300	981	1,147	**1000**	910	1,064	**2400**	783	0,915
400	970	1,135	**1200**	890	1,041	**2600**	766	0,896
500	960	1,122	**1400**	871	1,019	**2800**	750	0,877
600	950	1,110	**1600**	853	0,997	**3000**	734	0,858

Die Umrechnung der Dichte auf andere Temperaturen erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\rho_L(t) = \rho_L(25°C) * \frac{(273 + 25)}{(273 + t)}$$

$\rho_L(25°C)$[kg/m³] Dichte der Luft bei 25°C
$\rho_L(t)$ [kg/m³] Dichte der Luft bei Temperatur t
t [°C] Temperatur der Luft

Bei Anlagen, die aus dem Maschinenraum saugen, ist auf der Zuluftseite die Verbrennungsluftmenge des Motors zusätzlich zu berücksichtigen. In Kapitel 9.2 sind Richtwerte für die spezifische Verbrennungsluftmenge der einzelnen Motorbaureihen angegeben.

5.4 Komponenten des Lüftungssystems

Die Hauptkomponenten eines Maschinenraumlüftungssystems bilden Wetterschutzgitter, Schalldämmkulissen, Jalousien, Filter, Luftkanäle und Ventilatoren.

5.4.1 Wetterschutzgitter

Wetterschutzgitter werden zu- und abluftseitig an der Außenwand des Maschinengebäudes eingebaut. Sie verhindern das Eintreten von Regen und Schnee in das Belüftungssystem. In das Wetterschutzgitter ist ein Vogelschutzgitter zu integrieren, wodurch das Eindringen von Kleintieren in die Anlage verhindert wird.

5.4.2 Schalldämmkulissen

Besonders wenn Anlagen in Wohngebieten oder Gebieten mit festgelegten Lärmgrenzen installiert werden, kann ein erheblicher Aufwand an Schalldämmmaßnahmen im Lüftungssystem der Anlage erforderlich werden. In diesen Fällen sind auf der Zu- und Abluftseite Schalldämmkulissen vorzusehen. Hauptdaten für die Auslegung sind der durch die Kulissen zu fördernde Luftstrom, das erforderliche Schalldämmmaß und die zur Verfügung stehende Kanalöffnung. Danach wird dann die Tiefe der Kulissen deren Dicke und Abstand zueinander festgelegt.
Die Auslegung der Schalldämmkulissen muss von Fachfirmen vorgenommen werden und mit entsprechender Sorgfalt betrieben werden, da hier spätere Nachbesserungen bei Nichterreichen der geforderten Werte mit großem Kostenaufwand verbunden sind.

5.4.3 Jalousien

Jalousien sperren die Verbindung des Maschinenraumes zur Umgebung über das Lüftungssystem bei Stillstand der Anlage ab, insbesondere wird im Winter eine Raumunterkühlung vermieden. Die Jalousien werden durch elektrische Antriebe betätigt, die von der Schaltanlage angesteuert werden. In großen Anlagen werden durch gezielte Ansteuerung von Jalousien bestimmte Bereiche der Anlage mit Kühlluft beaufschlagt. Im Winter ist über die Steuerung von Jalousien eine Regelung der Maschinenraumtemperatur möglich.

5.4.4 Filter

Generell ist der Einbau von Filtern im Lüftungssystem notwendig. Dieses gilt besonders für Anlagen, die sich auf dem Gelände von Industrieanlagen befinden, in deren Umgebung die Luft stark verunreinigt ist, wie z.B. Deponien, Kohlegruben, Zementwerke, Hüttenbetriebe usw., und für Anlagen in Gebieten, in denen Sandstürme vorkommen. Hier ist je nach Spezifikation der Verunreinigung die entsprechende Filterungsart zu wählen. So lassen sich schwere Partikel leicht über Trägheitsfilter abscheiden, während z.B. bei Auftreten

leichter Fasern herkömmliche Gewebefilter vorzusehen sind, die wegen der relativ großen Luftmengen große Abmessungen erreichen können.
Geeignet sind Filter nach DIN EN 779 Filterklasse G3. Bei besonderen Anforderungen muss eine entsprechend höhere Filterklasse gewählt werden. Eine wirksame Filterüberwachung ist vorzusehen.

5.4.5 Ventilatoren

Die Ventilatoren sind meist als Axialgebläse – seltener auch als Radialgebläse - ausgeführt und müssen nach der erforderlichen Luftmenge und Druckdifferenz dimensioniert werden. Zur Regelung der Maschinenraumtemperatur kann die durchgeschleuste Luftmenge durch den Einsatz von Ventilatoren mit variabler Drehzahl oder durch das Zu- und Abschalten einzelner Ventilatoren angepasst werden.
Achtung: Bei Verwendung einzelner Ventilatoren ist zu berücksichtigen, dass stehende Ventilatoren - insbesondere Axialmaschinen - durch den Differenzdruck rückwärts angetrieben werden. Bei großen Ventilatoren kann dies zu Problemen führen.
Bei der Dimensionierung der Ventilatoren muss die Druckreserve im Hinblick auf die im Lüftungssystem eingebauten Komponenten wie Wetterschutzgitter, Schalldämmkulissen, Jalousien usw. richtig gewählt werden, damit die Auslegungsluftmenge wirklich erreicht wird.

5.4.6 Luftkanäle

Je nach Ausführung der Anlage oder der Lage des Maschinenraumes innerhalb eines größeren Gebäudes, z.B. im Keller bei Notstromanlagen, muss die Luft für die Maschinenraumbelüftung über größere Strecken herangeführt werden. Hierzu werden Luftkanäle verwendet. Die Druckverluste in diesen Kanälen sind bei der Auslegung der Ventilatoren zu berücksichtigen. Zur Vermeidung von Kondenswasserbildung sollten außen liegende Luftkanäle isoliert werden.

5.5 Planungshinweise

Nach der Ermittlung der erforderlichen Lüftungsmengen sind die Öffnungen und Kanäle so auszulegen, dass folgende Luftgeschwindigkeiten eingehalten werden.

Tab. 5.3

Komponente	Luftgeschwindigkeit (m/s)
Zuluft-/Abluftöffnung	1,5 - 2,5 / 2,5 - 4
Lüftungskanal	10 - 20
Freie Strömung im Maschinenraum	0,3
Schalldämmstrecke	6 - 8

Zusätzliche Einschränkungen aufgrund von Strömungsrauschen sind zu berücksichtigen.

5.5.1 Luftwechselzahl

Als Kennzahl für ein Belüftungssystem kann auch die Luftwechselzahl dienen.
Sie gibt die Anzahl der Luftwechsel pro Stunde an, d.h. wie oft pro Stunde das ganze Luftvolumen des Maschinenraumes ausgetauscht wird.
Bei Großanlagen im Gebäude sollte gemäß Erfahrung eine Luftwechselzahl von 100 nicht überschritten werden.
Bei extrem kleinen Maschinenräumen (z.B. Container) oder bei hohen Umgebungstemperaturen werden Luftwechselzahlen bis zu 500 erreicht.

5.6 Hinweis zum Betrieb der Belüftungsanlage bei Gasmotoren

Durch den Betrieb der Belüftungsanlage können auch die Druckverhältnisse am Verbrennungslufteintritt des Motors so beeinflusst werden, dass beim Start des Motors Probleme auftreten, bzw. der Start nicht möglich ist. In diesen Fällen sind vor dem Start nur die Zu- und Abluftjalousien zu öffnen. Die Ventilatoren sind so anzusteuern, dass besonders während der Startphase und dem Synchronisieren des Aggregates keine Druckstöße im Maschinenraum entstehen, d.h. die Ventilatoren müssen während der Startphase mit konstanter Drehzahl laufen.

5.7 Position von Zu- und Abluftöffnungen

Zuluftöffnungen sind so zu positionieren, dass möglichst saubere und kühle Luft angesaugt wird.
Die Position für den Austritt der Abluft ist so zu wählen, dass die Funktion von anderen Anlagenkomponenten wie z.B Kühlanlagen durch den warmen Abluftstrom nicht beeinträchtigt wird.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 6

Motorkühlsysteme

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

6.	**Motorkühlsysteme**	**3**
6.1	Einkreiskühlung	3
6.2	Zweikreiskühlung	3
6.2.1	Gasmotoren	3
6.2.1.1	Beispiel für den Aufbau von Kühlsystemen von Gasmotoren	4
6.3	Einzuhaltende Richtwerte für die Kühlkreise	7
6.3.1	Drücke	7
6.3.1.1	Minimaler Druck	7
6.3.1.2	Maximaler Druck	7
6.3.2	Pumpeneinbaulage	7
6.3.3	Max. zulässiger Temperaturgradient	7
6.4	Komponenten des Kühlwassersystems	8
6.4.1	Kühlwasserwärmetauscher	8
6.4.1.1	Einbindung Kühlwasserwärmetauscher bei Notkühlung mit Rohwasser	9
6.4.2	Abgaswärmetauscher	10
6.4.3	Kühlanlagen	10
6.4.3.1	Tischkühler	10
6.4.3.1.1	Tischkühler-Regelung	11
6.4.3.1.2	Sandwich-Tischkühler (nicht empfehlenswert)	12
6.4.3.1.3	Aufstellung und Auslegung von Tischkühlern	12
6.4.3.2	Kühltürme	14
6.4.4	Auslegung der Komponeneten - Reserven	15
6.4.5	Kältemaschinen	15
6.4.6	Kühlwasserpumpen	16
6.4.7	Membranausdehnungsgefäße	17
6.4.8	Temperaturregler	17
6.4.9	Kühlwasserüberwachungsgruppe	17
6.4.10	Kühlwasservorwärmung	17
6.5	Rohrleitungen	18
6.6	Entlüftung der Kühlsysteme	18
6.7	Qualität der Kühlflüssigkeit	18
6.8	Der Heizkreis	19
6.9	Kühlmedium im Heizkreis	19
6.10	Auslegungsvorschriften für den Heizkreis	22
6.11	Notkühlkreis	22

6. Motorkühlsysteme

Die zum Einsatz kommenden Kühlsysteme haben Wasser als Kühlmedium und sind motorseitig gesehen geschlossene Systeme.
Bei den Aggregatemotoren werden im wesentlichen zwei Kühlungsarten verwendet, die Einkreiskühlung und die Zweikreiskühlung.
Der Aufbau muss nach den nachfolgenden Darstellungen erfolgen. Abweichungen davon bedürfen der schriftlichen Genehmigung.

6.1 Einkreiskühlung

Bei Motoren mit Einkreiskühlung durchfließt das Kühlmedium den Schmierölkühler, die Gemischkühler und den Motor, d.h. die gesamte Wärme wird in einem Motorkühlwasserkreis abgeführt.

6.2 Zweikreiskühlung

Motoren mit Zweikreiskühlung haben neben dem Motorkühlwasserkreis zusätzlich einen Gemisch-/ Ladeluftkühlwasserkreis auf niedrigerem Temperaturniveau. Wegen des niedrigen Temperaturniveaus wird die Wärme aus dem Gemischkühlkreis in der Regel über einen Radiatorkühler oder Kühlturm mit separatem Kreis an die Umgebung abgegeben.

6.2.1 Gasmotoren

Bei allen Gasmotoren der Baureihe TCG 2016 C, TCG 2020 und TCG 2032 ist der Gemischkühler zweistufig ausgeführt. Die HT-Stufe ist in den Motorkühlkreis eingebunden, im Gemischkühlkreis wird die Wärme aus der NT-Stufe abgeführt.

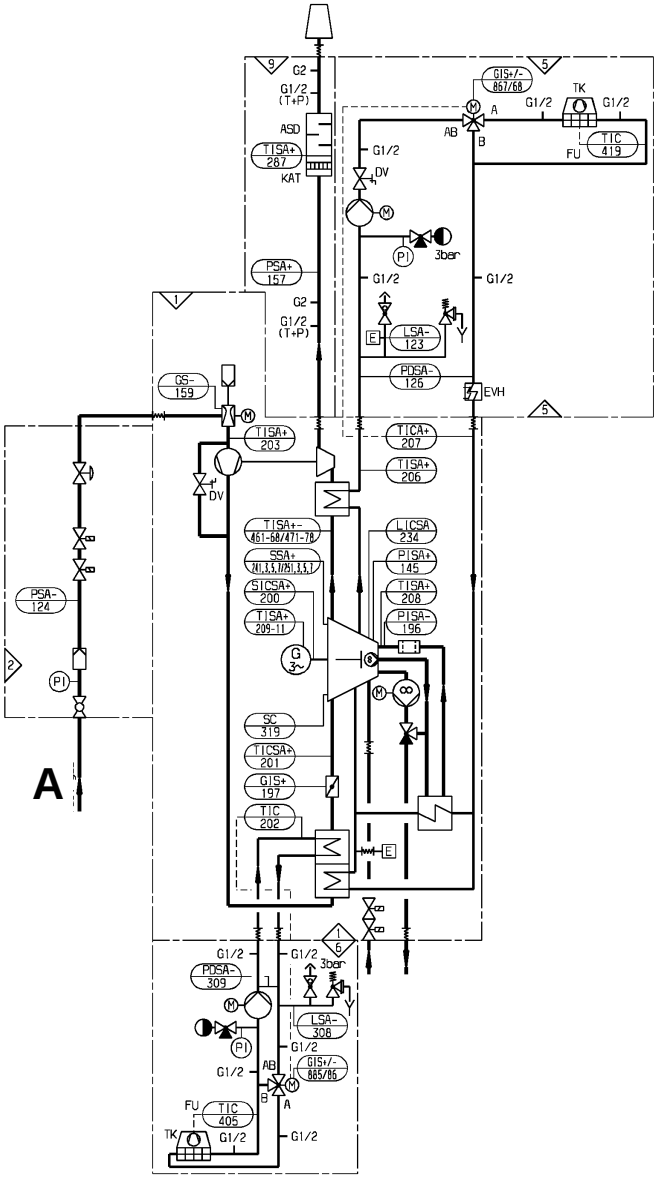
Da bei der Baureihe TCG 2032 der Schmierölkühler nicht am Motor angebaut ist, kann dieser je nach Aufbau des Gesamtsystem wasserseitig im Motorkühlkreis, im Gemischkühlkreis oder im Heizwasserkreis installiert werden. Dabei ist Kapitel 8.2 zu beachten.

6.2.1.1 Beispiel für den Aufbau von Kühlsystemen von Gasmotoren

Die durch das Kühlwasser aufgenommene Wärme wird über einen anlagenseitigen Wärmetauscher zur Nutzung in einem Heizwasserkreis oder einem anderen technischen Prozess übertragen. Ist keine Wärmenutzung vorhanden, muss sie über einen Radiatorkühler oder Kühlturm an die Umgebung abgeführt werden. Es ist nicht zulässig mit dem Kühlturmwasser direkt durch den Motor zu fahren! Hier ist ein Entkoppelungswärmetauscher oder geschlossener Kühlturm vorzusehen.
Es wird generell die Kühlwassereintrittstemperatur geregelt, wobei je nach Ausführung der Anlage der Temperaturregler direkt im Motorkreis oder im Heizkreis installiert ist. Als Kühlwasserpumpen werden immer Elektropumpen verwendet, die Feineinstellung des Kühlwasserdurchflusses erfolgt mit einer einstellbaren Drossel. Die Volumenausdehnung wird in einem Membranausdehnungsgefäß aufgenommen, das Niveau im Kühlwasserkreis wird mit der sogenannten Überwachungsgruppe überwacht. In dieser Gruppe sind ein Sicherheitsventil, ein Be- und Entlüftungsventil und die Wassermangelsicherung integriert.
Wie der Motorkreis ist auch der Gemischkühlkreis mit einer elektrisch angetriebenen Umwälzpumpe, Membran-Ausdehnungsgefäß, Überwachungsgruppe und Temperaturregler ausgeführt.
Es ist nicht gestattet, bei Mehrmotorenanlagen die Motorkühlkreise miteinander zu verbinden, da ansonsten keine eindeutige Regelung der jeweiligen Motoreintrittstemperatur gewährleistet werden kann.

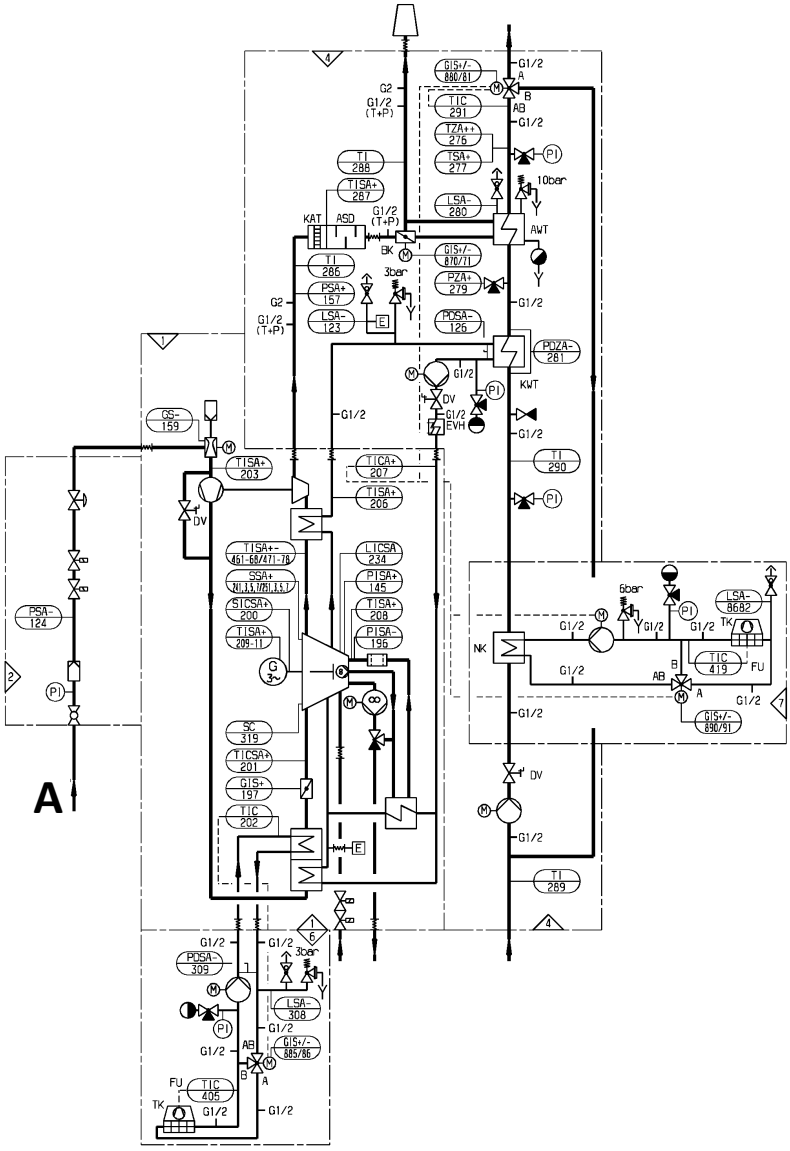
Abb. 6.1 zeigt ein Kühlsystem ohne Wärmenutzung.
Abb. 6.2 zeigt ein Kühlsystem mit Wärmenutzung.

Abb. 6.1 RI - Fließbild für Anlage ohne Wärmenutzung



A	Brenngas	ASD	Abgasschalldämpfer
1	Aggregat	DV	Drosselarmatur
2	Gasregelstrecke	EVH	Elektrische Vorheizung
5	Motorkühlung	FU	Frequenzumrichter
6	Gemischkühlung	KAT	Katalysator
		TK	Tischkühler

Abb. 6.2 RI - Fließbild für Anlage mit Wärmenutzung



A	Brenngas	ASD	Abgasschalldämpfer
1	Aggregat	AWT	Abgaswärmetauscher
2	Gasregelstrecke	BK	Bypassklappe
4	Wärmenutzung	DV	Drosselarmatur
6	Gemischkühlung	EVH	Elektrische Vorheizung
7	Notkühlkreis	FU	Frequenzumrichter
		KAT	Katalysator
		KWT	Kühlwasserwärmetauscher
		NK	Notkühler
		TK	Tischkühler

6.3 Einzuhaltende Richtwerte für die Kühlkreise

6.3.1 Drücke

Alle Drücke für Flüssigkeiten sind in bar Überdruck angegeben.
Alle Wärmetauscher, Pumpen und Tischkühler sind standardmäßig für 10 bar auszulegen, der Schmierölwärmetauscher vom TCG 2032 für 16 bar.

6.3.1.1 Minimaler Druck

Der minimal erforderliche Betriebsdruck am Motoraustritt ist 1,5 bar. Alle Gasmotoren haben im Motorkühlkreis eine Überwachung des Druckes am Kühlwasseraustritt. Bei Unterschreitung von 1,5 bar gibt es eine Warnung, bei Unterschreitung von 1,0 bar wird der Motor abgestellt. Die Membranausdehngefäße sollten so dimensioniert werden, dass bei stehender Anlage ein Mindestdruck von 1,5 bar eingehalten wird.

6.3.1.2 Maximaler Druck

Der maximal zulässige Druck am Motoraustritt liegt bei 2,5 bar. Das unmittelbar nach Motoraustritt einzubauende Sicherheitsventil öffnet bei ca. 3 bar.

6.3.2 Pumpeneinbaulage

Wenn sich durch externe Widerstände im Motorkreis (Wärmetauscher, Regelventile usw.) hohe Druckverluste ergeben, muss die Pumpe auf die Motoraustrittseite gebaut werden, da ansonsten entweder der maximal zulässige Druck auf der Motoraustrittseite oder der Mindestdruck nicht eingehalten werden kann.

6.3.3 Max. zulässiger Temperaturgradient

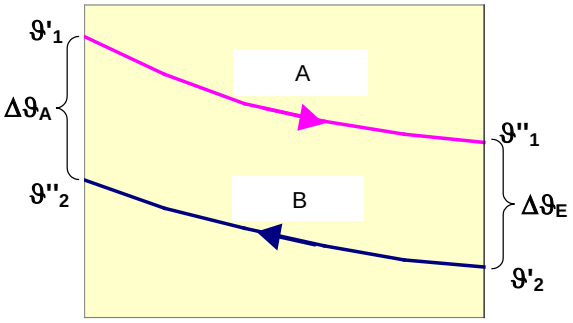
Werden die sekundärseitigen Eintrittstemperaturen von Motor-, Gemischkühl- und Notkühlkreis sowie die Heizkreiseintrittstemperatur kundenseitig geregelt, ist die max. zulässige Temperaturänderungsgeschwindigkeit von 1 K/min einzuhalten.
Dies ist notwendig, um ein stabiles Regelverhalten zu gewährleisten, die externen Störeinflüsse werden begrenzt.
Grundsätzlich ist bei allen Kühlern und Pumpen eine ausreichende Reserve vorzusehen.

6.4 Komponenten des Kühlwassersystems

6.4.1 Kühlwasserwärmetauscher

Leistungs- und Flächenreserve nach Tabelle 6.3 ist zu berücksichtigen.
Die vorgegebenen Motorein- und -austrittstemperaturen sind zu beachten (siehe Motordatenblatt).
Die sekundärseitigen Temperaturen sind so zu wählen, dass der Kühlwasserwärmetauscher mindestens eine logarithmische Temperaturdifferenz von 4 K hat und die Eintritts- bzw. Austrittstemperaturdifferenz mindestens 2 K beträgt (siehe auch Abb. 6.4).
Bei flüssigen Kühlmedien auf der Sekundärseite werden Plattenwärmetauscher oder Röhrenkühler eingesetzt. Plattenwärmetauscher sind sehr kompakt und leicht zu reinigen. Die Leistung kann durch Veränderung der Plattenanzahl in gewissen Grenzen nachträglich variiert werden.

Abb. 6.3 Logarithmische Temperaturdifferenz



$$\Delta\Theta = \frac{(\Delta\vartheta_A - \Delta\vartheta_E)}{\ln\frac{\Delta\vartheta_A}{\Delta\vartheta_E}}$$

A	Medium 1
B	Medium 2
ln	Natürlicher Logarithmus
$\Delta\theta$	Logarithmische Temperaturdifferenz

Beispiel
Ein Motorkühlwasserwärmetauscher im Heizkreis hat folgende Auslegungsdaten:

Motorseite:	Eintrittstemperatur ϑ'_1:	90°C	
	Austrittstemperatur ϑ''_1	84°C	
Heizkreisseite:	Eintrittstemperatur ϑ'_2:	70°C	
	Austrittstemperatur ϑ''_2	85°C	
Dann ergeben sich:	$\Delta\vartheta_A$:	(90°C-85°C)	= 5 K
	$\Delta\vartheta_E$:	(84°C-70°C)	= 14 K
	$(\Delta\vartheta_A-\Delta\vartheta_E)$:	(5-14) K	= -9 K
	$\ln(\Delta\vartheta_A/\Delta\vartheta_E)$:	ln(5/14)	= -1,0296
	$\Delta\Theta$:	(-9 K/-1,0296)	= 8,74 K

Dieser Plattenwärmetauscher erfüllt damit die Mindestvorgaben $\Delta\Theta \geq 4$ K, $\Delta\vartheta_A$ und $\Delta\vartheta_E \geq 2$ K.

6.4.1.1 Einbindung Kühlwasserwärmetauscher bei Notkühlung mit Rohwasser

Wenn die Notkühlung mit Rohwasser gekühlt werden soll, dann sollte man die Regelung der primärseitigen Notkühler-Austrittstemperatur auch auf der Primärseite durchführen (siehe Abb. 6.5a).
Dadurch wird der Kühler nur mit warmen Wasser durchströmt, wenn Überschusswärme abgeführt werden muss. Der Volumenstrom auf der Sekundärseite muss so gewählt werden, dass eine Austrittstemperatur von ca. 45 °C nicht überschritten wird.
Man sollte die Regelung keinesfalls nach Abb 6.5b durchführen. Bei dieser Abbildung wird der Notkühlplattenwärmetauscher ständig von dem warmen Wasser durchflossen. Dadurch kann das sekundärseitige Rohwasser, je nach Durchflussmenge, die Warmwassertemperatur erreichen. Im Laufe der Zeit wird dieser Plattenwärmetauscher verkalken.
Der Temperaturgradient auf der Rohwasserseite sollte nicht mehr als +/- 1 K/min betragen.
Für die Stellantriebe hat der I/O Controller des TEM-Systems digitale Ausgänge für +/- (24V Signal) um das Ventil zu öffnen bzw. zu schließen. Die Ventillaufzeit (von Anschlag zu Anschlag) muss, um eine sinnvolle Regelung zu ermöglichen, etwa 1 Minute betragen.

Abb. 6.4a Richtiger Aufbau

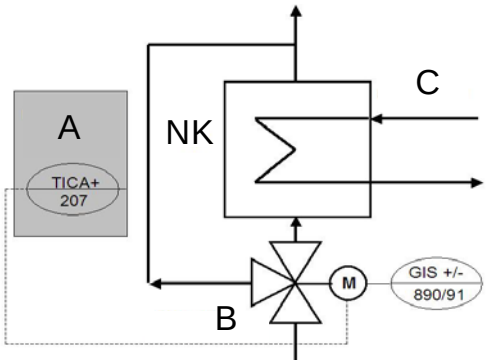
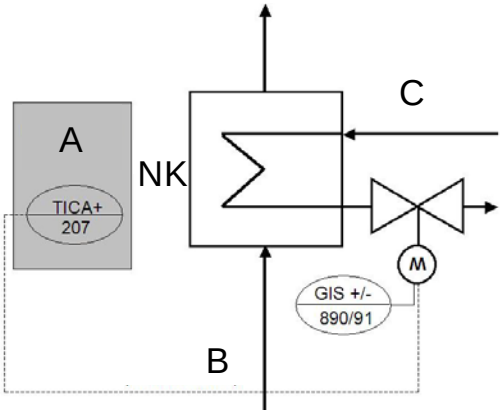


Abb 6.4b Falscher Aufbau



A	Motorkühlkreis
B	Primärseite (Motor- / Heizkreis)
C	Sekundärseite
NK	Notkühler

6.4.2 Abgaswärmetauscher

Leistungs- und Flächenreserve nach Tabelle 6.3 sind zu berücksichtigen. Bei der Festlegung der Abgas-Abkühltemperatur muss der Anteil von H_2S und Schwefel im Brenngas berücksichtigt werden, um saures Kondensat zu vermeiden, das den Abgaswärmetauscher beschädigt.

Empfohlene Abgasabkühltemperaturen:

Erdgas:	≥ 120 °C
Klärgas:	≥ 150 °C
Deponiegas u. NAWARO Gas:	≥ 180 °C

Um eine ausreichende Kühlung des Abgaswärmetauschers zu gewährleisten, ist der vom Hersteller vorgegebene Mindestvolumenstrom einzuhalten. Nach dem Abschalten des Aggregates ist ein Pumpennachlauf erforderlich, um die Stauwärme im AWT an das Wasser abzuführen. Diese Funktion ist im TEM vorgesehen.

6.4.3 Kühlanlagen

Die Kühlanlage muss die anfallende Wärme bei der maximalen Umgebungstemperatur abführen können.
Bei Luft als sekundärseitigem Kühlmedium werden Ventilatorkühlanlagen und Kühltürme verwendet.
Ventilatorkühlanlagen können bis zu einer gewissen Größenordnung als Stirnkühler (vertikal angeordnetes Kühlnetz) ausgeführt werden, größere Anlagen werden als Tischkühler ausgeführt. Bei Stirnkühlanlagen drücken die Lüfter die Luft durch das Kühlnetz, bei Tischkühlanlagen wird die Luft durch das Kühlnetz gesaugt.
Der mitunter hohe Geräuschpegel der Lüfter muss bei der Installation der Anlagen in Wohngebieten berücksichtigt werden. Hier können entweder langsam laufende Lüfter eingesetzt werden oder es werden spezielle Geräuschdämmmaßnahmen erforderlich.

6.4.3.1 Tischkühler

Leistungs- und Flächenreserve nach Tabelle 6.3 sind zu berücksichtigen.Bei Verschmutzungsgefahr durch die Umgebung (z.B. Blätter, Pollen, Sand, Kohlenstaub etc.) müssen die Abstände der Lamellen so vergrößert werden, dass die Kühlerfläche nicht zu schnell zugesetzt wird, da sonst durch die Verschlechterung des Wärmeübergangs die Wärme nicht mehr abgeführt werden kann.
Bei Luftkühlern ist wegen der Frostgefahr Frostschutzmittel im Kühlwasser vorzusehen.
Bei der Tischkühleraufstellung ist zu beachten, dass der Abstand nach unten für eine gute Luftzuführung ausreicht. Bei mehreren Kühlern ist auf ausreichenden Abstand zwischen den Kühlern zu achten, damit Kurzschluss von Luftströmen vermieden wird.

Ab einer Tischkühler-Aufstellhöhe von 15 Metern über Motor ist ein Koppelwärmetauscher zwischen Motor und Tischkühler einzubauen, damit die in Absatz 6.3.1.2 erwähnten maximal zulässigen Betriebsdrücke im Motor nicht überschritten werden.

6.4.3.1.1 Tischkühler-Regelung

Die Leistung der Tischkühler hängt von der Umgebungstemperatur und der Anzahl bzw. der Drehzahl der laufenden Lüfter ab. Bei Regelung der Tischkühlerleistung über die Anzahl der laufenden Lüfter spricht man von Stufenregelung, bei Regelung über die Drehzahl der Lüfter von FU-Regelung. Die FU-Regelung bietet den Vorteil der kontinuierlichen Anpassung der Kühlerleistung an die abzuführende Wärmeleistung. Für die verschiedenen Motortypen ist die Tischkühlerregelung für die einzelnen Kühlkreise gemäß Tabelle 6.2 auszuführen.
Für die Abführung der Wärme im Gemischkühlkreis und/oder Motor-/Notkühlkreis über Tischkühler ist für die Gasmotoren nachfolgende Zuordnung zu beachten.

Tab. 6.2:

	Kühler GK	**Kühler MK**	**Kühler NK**
TCG 2032	FU geregelt	FU geregelt	FU geregelt
TCG 2020	FU geregelt	FU geregelt	FU geregelt
TCG 2016 C	FU geregelt	≥ 6 Stufen	≥ 6 Stufen

FU = Frequenzumrichter; GK = Gemischkühlkreis ; MK = Motorkühlkreis; NK = Notkühlkreis;

Zusammenfassend, bei allen Gasmotoren ist die Wärme im Gemischkühlkreis über frequenzgeregelte Tischkühler abzuführen.
Der Motor TCG 2016 C kann zur Kühlung im MK und NK mit einem mindestens 6 stufigen Kühler (6 Lüfter) ausgerüstet werden. Weniger Stufen sind nicht zulässig. Alternativ wird die FU-geregelte Variante empfohlen.
Für sehr kalte Umgebungsbedingungen, d.h. regelmäßig niedrige Temperaturen unter -15°C sind alle Kühlkreisläufe FU geregelt auszuführen.
Nur so ist sichergestellt, dass unter allen Umgebungsbedingungen die erforderlichen Randbedingungen für den Gasmotor eingehalten werden können.

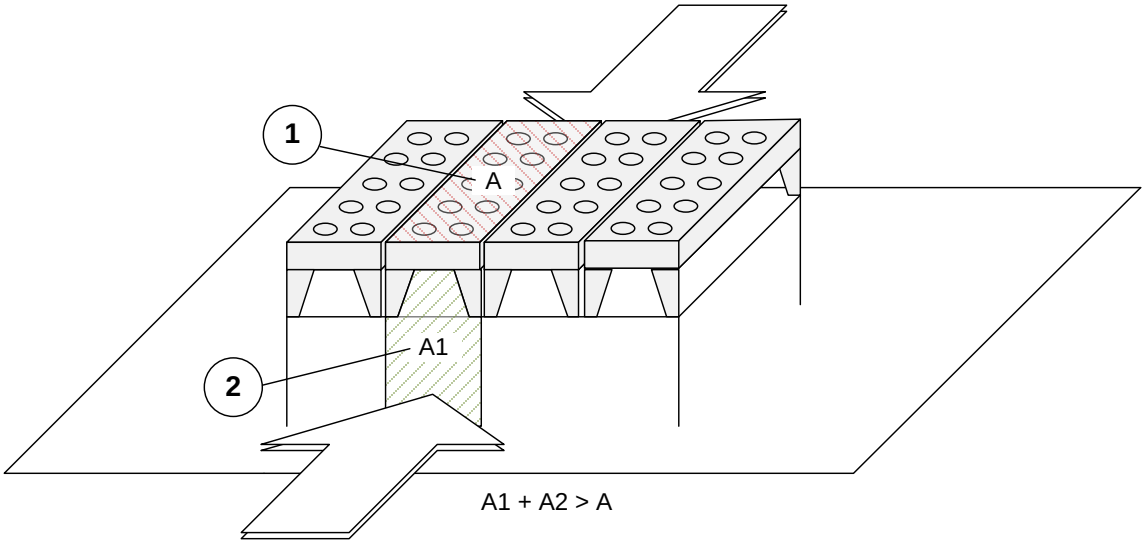
6.4.3.1.2 Sandwich-Tischkühler (nicht empfehlenswert)

Eine Sonderbauform des Tischkühlers ist der Sandwich-Tischkühler, bei dem zwei getrennte Kühlerstufen übereinander angeordnet sind und durch gemeinsame Lüfter mit Luft versorgt werden. Die erste Stufe ist die NT-Stufe (NT=**N**ieder**T**emperatur), die zweite Stufe die HT-Stufe (HT=**H**och**T**emperatur). In der NT-Stufe wird in der Regel die Gemischwärme abgeführt, in der HT-Stufe die Motorkühlwasserwärme. Diese Kühlerbauart wird nur bei reinen Stromerzeugungsanlagen eingesetzt, da es nur bei reinen Strommodulen zu einer angemessen gleichmäßigen Beaufschlagung der HT- und NT-Kühlerstufe im Tischkühler kommt. Bei Anlagen mit Wärmenutzung wird die HT-Kühlstufe eines Sandwich-Tischkühlers als Notkühler verwendet. Die Drehzahl der Lüfter wird bei Wärmenutzung (keine oder kaum Wärmeabfuhr über die Notkühlung) durch die im NT-Kreis abzuführende Gemischwärme bestimmt. Hierdurch bedingt ist der Notkühler (HT-Stufe des Sandwich-Tischkühlers) bei teilweiser Beanspruchung der Notkühlleistung zu groß und kann zu Instabilität in der Kühlwassertemperaturregelung führen. Deshalb wird dem Einsatz dieser Kühlerbauart bei Anlagen mit Wärmenutzung nicht zugestimmt.

6.4.3.1.3 Aufstellung und Auslegung von Tischkühlern

Leistungs- und Flächenreserve nach Tabelle 6.3 sind zu berücksichtigen. Bei Verschmutzungsgefahr durch die Umgebung (z.B. Blätter, Pollen, Sand, Kohlenstaub etc.) müssen die Abstände der Lamellen so vergrößert werden, dass die Kühlerfläche nicht zu schnell zugesetzt wird, da sonst durch die Verschlechterung des Wärmeübergangs die Wärme nicht mehr abgeführt werden kann.
Bei Luftkühlern ist wegen der Frostgefahr Frostschutzmittel im Kühlwasser vorzusehen.
Bei der Tischkühleraufstellung ist zu beachten, dass die Aufstellhöhe über dem Boden für eine gute Luftzuführung ausreicht. Die freie Zuströmfläche für die Luftzufuhr muss mindestens der -Grundfläche des Tischkühlers entsprechen. Bei mehreren Kühlern ist der Kurzschluss von Luftströmen zu vermeiden. Tischkühler sollten dafür entweder bündig nebeneinander oder mit ausreichend Platz dazwischen aufgestellt werden. Dabei die Tischkühler ausreichend hoch stellen, so dass an den freien Seiten die benötigte Zuströmfläche für die Luftzufuhr gewährleistet ist.

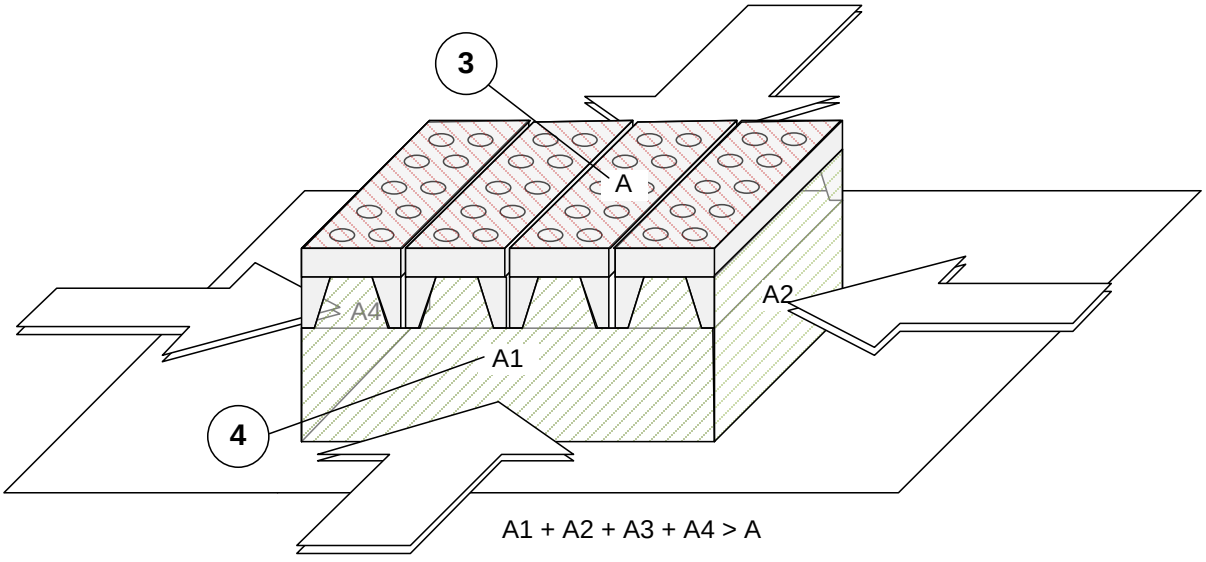
Abb. 6.5a Aufstellung von Tischkühlern



1 Grundfläche eines einzelnen Tischkühlers

2 Zuströmflächer der Kühlluft A1 und A2 (nicht sichtbar) für diesen Tischkühler

Abb. 6.5b Aufstellung von Tischkühlern



3 Grundfläche aller Tischkühler

4 Zuströmflächen der Kühlluft A1, A2 und A3 (nicht sichtbar) und A4

6.4.3.2 Kühltürme

Kühltürme nutzen den Verdampfungskühleffekt von Wasser zur Kühlung aus und kommen in geschlossener oder offener Bauweise zur Anwendung. Beim offenen Kühlturm wird ein Teil des umlaufenden Kühlwassers (ca. 3 %) verdampft. Die verdampfte Wassermenge muss immer nachdosiert werden, zusätzlich ist eine Abschlämmung vorzusehen, um eine unzulässige Aufkonzentration von im Ergänzungswasser gelösten Salzen im Kühlturm zu vermeiden.
Da bei allen Motorkühlkreisen mit Korrosionsschutz und/oder Frostschutz aufbereitetes Wasser verwendet werden muss, dürfen diese Kühlkreise nur über einen Entkoppelungswärmetauscher an einen offenen Kühlturm angeschlossen werden.
Bei offenen Nasskühltürmen muss der Plattenwärmetauscher öfter gereinigt werden, da sich im Kühlturmwasser Algen bilden, die sich auf den Platten des Wärmetauschers ablegen. Je dicker die Algenschicht im Plattenwärmetauscher wird, umso schlechter wird der Wärmeübergang. Bei den zu kühlenden Kreisen wird keine Wärme mehr abgeführt.
Bei geschlossenen Kühltürmen werden die Kühlwasserrohre mit Wasser besprüht, wodurch das Wasser verdunstet und eine Abkühlung des Mediums im Rohr erreicht wird. Da in dem eigentlichen Kühlkreis kein Wasserverlust auftritt, können die geschlossenen Kühltürme direkt an den Motorkühlkreis angeschlossen werden. Die wichtigsten Auslegungsparameter für den wirtschaftlichen Betrieb eines Kühlturms sind die Lufttemperatur und vor allem die Luftfeuchtigkeit.

6.4.4 Auslegung der Komponenenten - Reserven

Bei der Auslegung der Komponenten für das Kühlwassersystem müssen Reserven berücksichtigt werden. Die in den Datenblättern angegebenen Wärmemengen sind Nennwerte, die keine Toleranz für eventuellen Brennstoffmehrverbrauch berücksichtigen. In der folgenden Tabelle sind die Reserven für Leistung und Fläche angegeben, die bei der Auslegung berücksichtigt werden müssen.

Tab. 6.3

Komponenente	Leistungsreserve [%]	Flächenreserve [%]
Wärmetauscher Wasser/Wasser	15	5
Wärmetauscher Wasser/Öl	15	5
Ventilatorkühler	15	5
Abgaswärmetauscher	7	10 bei Erdgas 0 bei Biogas, Klärgas und Deponiegas etc.

Beispiel:
In einem Datenblatt für einen TCG 2020 V20 ist eine Kühlwasserwärme von 1000 kW angegeben.
Der Kühlwasserwärmetauscher muss dann für eine Leistung von 1150 kW mit einer Flächenreserve von 5% ausgelegt werden.

6.4.5 Kältemaschinen

Kältemaschinen sollten möglichst nicht direkt in den Motorkühlkreis eingebunden werden.. Durch Leckagen kann z.B. Li Br in den Motorkühlkreis strömen. Das wird durch einen Koppelwärmetauscher im Motorkühlkreis vermieden.
Es gibt Anwendungsfälle, bei denen das geforderte Wasser-Temperaturniveau der Kältemaschine nur durch direkte Einbindung in den Kühlwasserkreis des Motors dargestellt werden kann. Für diesen Einsatzfall müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

- die Anforderungen an die Kühlwasserqualität des Motors, Korrosionsschutz oder Gefrierschutz, müssen eingehalten werden
- die vom Motorenhersteller freigegebenen Kühlwasserzusätze müssen auch für die Kältemaschine freigegeben sein
- durch Leckagen im Wärmetauscher der Kältemaschine kann sowohl das Kältesystem als auch der Motor geschädigt werden; für solche Schäden übernimmt der Motorenhersteller keine Haftung

6.4.6 Kühlwasserpumpen

Für alle Baureihen werden von Elekromotoren angetriebene Kühlwasserpumpen mit festen Drehzahlen eingesetzt.
Bei Anlagen mit Wärmeverwertung aus dem Kühlwasser, müssen die Motoreintrittstemperatur und die -austrittstemperatur zur Erzielung möglichst hoher Wirkungsgrade und Bauteilstandzeiten genau eingehalten werden. Um die erforderlichen Fördermengen und die je nach Anlage benötigten Förderhöhen individuell besser abzustimmen, werden bei diesen Anlagen Elektropumpen verwendet. Bei der Auslegung von Wärmetauschern und Tischkühlern sind vorgegebene Leistungsreserven zu berücksichtigen, siehe Absätze 6.4.1, 6.4.2 und 6.4.3.1. Diese Wärmemehrleistung muss durch einen erhöhten Volumenstrom berücksichtigt werden, unter Beibehaltung der Auslegungstemperaturen. Bei der Pumpendimensionierung sind der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und auch die damit verbundenen höheren Druckverluste zu berücksichtigen. Um die gewünschte Auslegungstemperaturspreizung zu erreichen, muss die Kühlwassermenge über eine Drosselarmatur genau eingestellt werden.
In den Motorkühlkreisen (GK und MK) und in den Kühlkreisen mit einem Abgaswärmetauscher muss ein konstanter Volumenstrom eingestellt werden, wobei der geforderte Mindestvolumenstrom nicht unterschritten werden darf. Andernfalls kann der Motor oder der Abgaswärmetauscher überhitzen und beschädigt werden. Aus diesen Gründen ist der Einsatz von frequenzgeregelten Pumpen in diesen Kreisen nicht zulässig.

6.4.7 Membranausdehnungsgefäße

Zum Ausgleich der Volumenausdehnung bei Erwärmung des Kühlwassers werden im Kühlsystem Membranausdehnungsgefäße vorgesehen. Die Volumenausdehnung des Kühlwassers bei Erwärmung wird durch das Zusammendrücken einer Gasblase kompensiert. Der daraus resultierende statische Druckanstieg im System ist von der Größe des gewählten Ausdehnungsgefäßes abhängig. Ausdehnungsgefäße müssen an der Saugseite der Pumpe angeschlossen werden. Beim Einsatz eines Membranausdehnungsgefäßes ist der Kühlwasserkreis gegen Überdruck mit einem Sicherheitsventil abzusichern. Im Motor- und Gemischkühlkreis werden Sicherheitsventile mit 3,0 bar Ansprechdruck eingesetzt. Der Einbauort sollte möglichst nah am Motorkühlwasseraustritt sein.
Bei der Auslegung des Ausdehnungsgefäßes ist der statische Druck, der Strömungsdruckverlust zwischen dem Sicherheitsventil und dem Ausdehnungsgefäß und eine Wasservorlage zu berücksichtigen. Die Wasservorlage in dem Motor- und Gemischkühlkreis sollte ca. 10-15 % des Kühlwasserinhaltes betragen, darf aber 20 Liter nicht unterschreiten.

6.4.8 Temperaturregler

Die Temperaturregler sind als elektronische Regler mit elektrischem Stellantrieb ausgeführt.
Elektronische Temperaturregler können die eingestellte Temperatur auf einen konstanten Sollwert regeln, die Regelgröße kann in einem fremden Kreis liegen. Genaue Temperaturregelung ist besonders bei Anlagen mit Wärmeverwertung und gleichzeitiger Forderung nach hohem Gesamtwirkungsgrad nötig.
Die Nennweiten der Temperaturregelventile sind so festzulegen, dass der Druckverlust über den Regler bei der jeweiligen Nenn-Durchflussmenge im Bereich von 0,2-0,5 bar im Durchgang (Bypass geschlossen) liegt.

6.4.9 Kühlwasserüberwachungsgruppe

In der Kühlwasserüberwachungsgruppe sind drei Funktionen integriert: Absicherung gegen Überdruck, Entlüftung des Kühlkreises und Kühlwasserniveau-Überwachung. Die Kühlwasserüberwachungsgruppe muss an der höchsten Stelle des Kühlwassersystems unmittelbar nach dem Motor eingebaut werden. Bei Motoren der Baureihe TCG 2016 C muss eine Entlüftungsleitung zur Überwachungsgruppe geführt werden.
Zusätzlich ist es notwendig den Kühlwasserdurchfluss des Motors mittels Differenzdruck zu überwachen.

6.4.10 Kühlwasservorwärmung

Gasmotorenaggregate sind für einen sicheren Start des Motors grundsätzlich mit einer Kühlwasservorwärmung auszurüsten. Als Vorwärmung für Motorwasser und Öl kommen beim TCG 2032 komplette Vorwärmaggregate mit Pumpe, Wärmetauscher mit Heizstäben und elektrischer Regelung zum Einsatz. Für die Baureihen TCG 2016 C und TCG 2020 wurde eine Vorheizung entwickelt, die vor dem Motor in die Kühlwasserleitung eingebaut wird. Als Umwälzpumpe wird die elektrisch angetriebene Kühlwasserpumpe benutzt. Die Regelung erfolgt über das TEM-System.

6.5 Rohrleitungen

Die Rohrleitungen für die Kühlwassersysteme sind grundsätzlich aus nahtlosem Stahlrohr auszuführen. Verzinkte Stahlrohre und Kupferrohre sind nicht zugelassen.
Siehe hierzu auch Hinweise in Kapitel 20.

Bei der Dimensionierung der Rohrleitungen sind folgende Richtwerte einzuhalten:

- Strömungsgeschwindigkeit anlagenseitig: < 3,5 m/s
- Die wirtschaftliche Geschwindigkeit für Flüssigkeiten in Rohrleitungen von DN 50 bis DN 300 ist in der Größenordnung von 2 m/s
- Der Strömungsdruckverlust im jeweiligen Kühlkreis muss bei dem Auslegungsvolumenstrom unter der Förderhöhe der eingesetzten Pumpe liegen

Die Rohrleitungen sind kurz und spannungsfrei zu verlegen. Alle Komponenten müssen fest installiert und wenn erforderlich schwingungsmäßig entkoppelt sein. Scharfe Rohrkrümmer und Rohrverengungen sind zu vermeiden. Werkstoffe für Dichtungen, Gummimuffen und Schlauchleitungen müssen gegen Korrosionsschutzmittel und gegen äußere Einwirkungen durch Kraftstoff und Schmieröl beständig sein.

6.6 Entlüftung der Kühlsysteme

Das Kühlwassersystem muss ständig entlüftet werden. In Anlagen mit Membranausdehnungsgefäßen erfolgt die Entlüftung über das in der Überwachungsgruppe integrierte oder ein in der Rohrleitung eingebautes Entlüftungsventil. Die Kühlwasserleitungsführung ist so zu gestalten, dass Luftsäcke im System vermieden werden, gegebenenfalls sind weitere Dauerentlüftungen oder Entfüftungshähne an den Hochpunkten vorzusehen.
Für einen sicheren und von Druckstößen freien Betrieb des Kühlsystems ist es unbedingt erforderlich, dass das System einwandfrei entlüftet ist bzw. sich eventuell bildende Luftblasen von selbst entlüftet werden.

6.7 Qualität der Kühlflüssigkeit

Bei flüssigkeitsgekühlten Motoren ist die Kühlflüssigkeit aufzubereiten und zu überwachen, da ansonsten Schäden durch Korrosion, Kavitation oder Gefrieren auftreten können.
In dem technischen Rundschreiben für Kühlflüssigkeit sind umfassende Angaben zu Wasserqualität, Korrosionsschutz- und Gefrierschutzmittel gemacht. Außerdem sind die freigegebenen Kühlmittelzusätze der namhaften Hersteller angegeben. Es dürfen keine anderen als die freigegebenen eingesetzt werden.

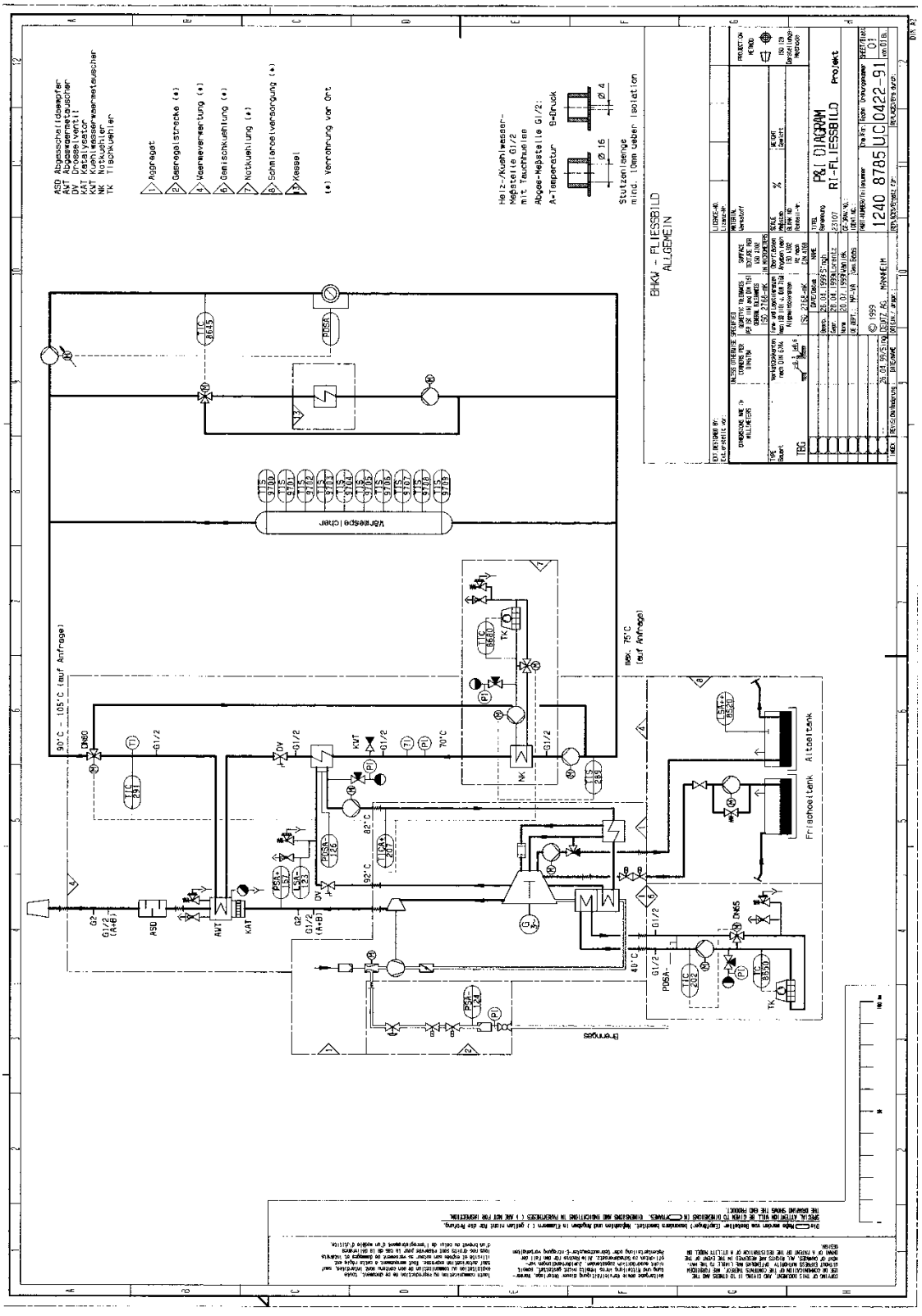
6.8 Der Heizkreis

Bei Anlagen mit Wärmeverwertung wird die durch den Motor erzeugte Wärme an den Heizkreis übertragen. Die Hauptkomponenten auf der modulseitigen Heizkreiseinbindung sind der Kühlwasserwärmetauscher, der Abgaswärmetauscher, die Umwälzpumpe, das Drosselventil und das Dreiwegeventil für die Temperaturregelung. Die von dem Motor abgegebene Wärmeleistung im Kühlwasser und im Abgas sowie die dazugehörigen Durchflussmengen und Temperaturdifferenzen stehen für die Motoren bei den jeweiligen Betriebsarten fest. Die Fördermenge der Umwälzpumpe im Heizkreis wird durch die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf des Heizkreises festgelegt. Bei der Pumpendimensionierung ist der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und die damit verbundenen höheren Druckverluste zu berücksichtigen. Siehe auch Abb. 6.2 Systemgrenze 4.
Auch im Heizkreis muss eine Druckhalteeinrichtung vorgesehen werden, diese ist in der Regel als Sammelanlage im Rücklauf angeordnet.
Der Heizkreis ist so aufzubauen, dass unabhängig von Stell- und Regelvorgängen die Durchströmung auf dem beschriebenen Zweig des Heiznetzes (Kap. 6.7, Abschnitt 1) ohne Schwankungen im Differenzdruck sichergestellt ist (hydraulische Entkoppelung). Hierzu sind am besten Wärmespeicher geeignet (s. Abbildung 6.6). Sie entkoppeln die wärmeerzeugende und die wärmenutzende Seite.

6.9 Kühlmedium im Heizkreis

Der Heizkreis ist ein geschlossener Kreis. Auch in diesem Kreis ist eine gewisse Wasserqualität einzuhalten. Besonders Sauerstoff, Chloride und Schwefelwasserstoff fördern die Korrosion im System. Gelöste Salze fallen an den Stellen höheren Wärmeüberganges als Kristalle aus und führen hier zu Ablagerungen, die sich negativ auf den Wärmeübergang auswirken (z.B. Kesselstein). Besonders im Abgaswärmetauscher besteht wegen der hohen Wassertemperaturen an den Wärmeübergangsstellen die Gefahr von kristallinen Ablagerungen.
Diese Phänomene können durch Zugeben von Inhibitoren ins Heizwassermedium und durch die Wahl geeigneter Wärmetauscherwerkstoffe reduziert werden. Dieses ist für den jeweiligen Anwendungsfall zu untersuchen.
Wird der Abgaswärmetauscher in den Heizkreis eingebunden und entspricht die Heizwasserqualität nicht dem technischen Rundschreiben für Kühlflüssigkeit, Mindestanforderungen an die Wasserqualität von Heizkreisen, so ist ein eigener Koppelkreis mit zusätzlichem Wärmetauscher zwischen AWT und Wärmeabnehmer vorzusehen. Somit wird der AWT vor evtl. Beschädigungen durch Verunreinigung im Heizwasser geschützt.

Abb. 6.6 RI - Fließbild mit hydraulischer Entkopplung zwischen Wärmeerzeugung und Wärmenutzung



Legende zum RI-Fließbild in Abb. 6.6

1	Aggregat
2	Gasregelstrecke
4	Wärmeverwertung
6	Gemischkühlung
7	Notkühler
8	Schmierölversorgung
13	Kessel

ASD	Abgasschalldämpfer
AWT	Abgaswärmetauscher
DV	Drosselventil
KAT	Katalysator
KWT	Kühlwasserwärmetauscher
NK	Notkühler
TK	Tischkühler

6.10 Auslegungsvorschriften für den Heizkreis

Für die Auslegung des Heizkreises gelten die Vorschriften für Wasserheizungsanlagen und Dampfkesselanlagen.

Diese sind u.a.:

DIN EN 12828	Heizungssysteme in Gebäuden (für max. Betriebstemperaturen bis 105°C) Sofern bei Planung und Bau von Wärmeerzeugungsanlagen Absicherungstemperaturen > 110°C notwendig sind, empfehlen wir die vorherige Absprache mit dem TÜV oder anderen zuständigen Behörden. Dort kann die gewünschte und für die Festlegung der Prüffristen (BetrSichV) erforderliche Ausrüstung abgestimmt werden.
DIN EN 12953	Großwasserraumkessel
TRD 604 Bl.1	Betrieb von Dampfkesselanlagen mit Dampferzeugern der Gruppe IV ohne ständige Beaufsichtigung
TRD 604 Bl.2	Betrieb von Dampfkesselanlagen mit Heißwassererzeugern der Gruppe IV ohne ständige Beaufsichtigung
TRD 702	Dampfkesselanlagen mit Heißwassererzeugern der Gruppe II

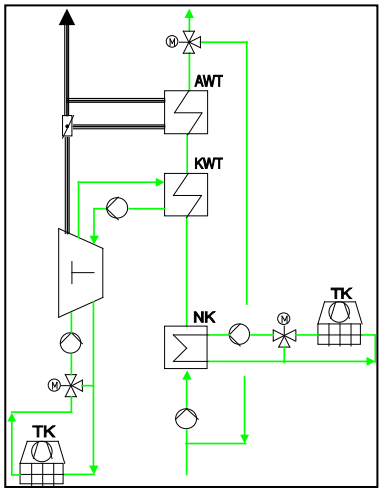
Je nach Vorlauftemperatur im Heizwasserkreis (90°C, 100°C oder 120°C) muss für den Schutz und die Sicherheitskette des Abgaswärmetauschers und die Absicherung des Heizkreises die entsprechende Geberbestückung eingesetzt werden. Die Gebersignale werden im TEM-System verarbeitet.

Für die Überwachungssysteme (Geber mit Signalverarbeitung im TEM-System) wurde vom TÜV eine Freigabe erteilt, so dass die bei jeder Anlage durchzuführenden Einzelprüfungen durch den TÜV zügig abgewickelt werden können.

6.11 Notkühlkreis

In Anlagen, in denen die Wärmeabfuhr über den Heizkreis nicht immer gewährleistet ist, aber dennoch die elektrische Leistung des Aggregates zur Verfügung stehen muss, wird die vom Motor erzeugte Wärme über den sogenannten Notkühlkreis abgeführt. Die Einbindung des Notkühlkreises hängt von dem jeweiligen Anlagenaufbau ab. Je nach Anordnung des Abgaswärmetauschers oder auch des anlagenseitigen Schmierölkühlers bei Anlagen mit TCG 2032 muss die Notkühlung so eingebunden werden, dass auch der Betrieb dieser Komponenten ohne Wärmeabfuhr über den Heizkreis sicher gewährleistet ist.
Die Wärmeabfuhr erfolgt normalerweise über einen im Heizkreis eingebundenen Notkühlwärmetauscher, der an einen Tischkühler oder Kühlturm angeschlossen ist. Siehe Abb. 6.7. Bei der Pumpendimensionierung ist der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und die damit verbundenen höheren Druckverluste zu berücksichtigen.

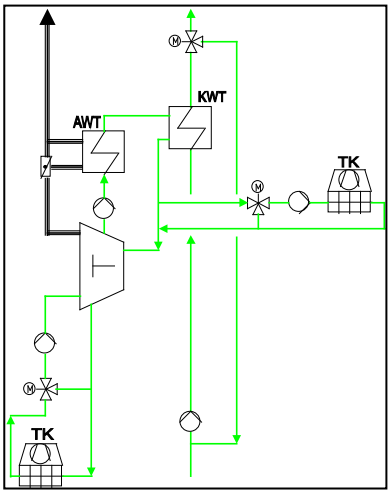
Abb. 6.7 Notkühlung mit Koppelwärmetauscher im Heizkreis



AWT	Abgaswärmetauscher
KWT	Kühlwasserwärmetauscher
NK	Notkühler
TK	Tischkühler

Wenn die vom Motor produzierte Wärme, d.h. Motorkühlwasserwärme, Abgas und Schmieröl (bei 2032) über einen Wärmetauscher in den Heizkreis übertragen wird, kann der Notkühler ohne zusätzlichen Koppelwärmetauscher direkt im Motorkühlkreis eingebunden werden. Siehe Abb. 6.8.

Abb. 6.8 Direkte Einbindung der Notkühlung im Motorkreis



AWT	Abgaswärmetauscher
KWT	Kühlwasserwärmetauscher
TK	Tischkühler

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 7

Brennstoffsystem

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

7.	**Brennstoffsystem**	**3**
7.1	Gasförmige Brennstoffe	3
7.1.1	Die Methanzahl	3
7.1.2	Begleitgase / Begleitstoffe	3
7.1.3	Wasserdampf, Kohlenwasserstoffdämpfe, Staub im Gas	4
7.1.4	Gaskühltrocknung	4
7.1.5	Aktivkohlefilter	5
7.1.6	Gemischaufbereitung	7
7.1.7	Gasregelstrecke	9
7.1.7.1	Vorregelstrecke	10
7.1.7.2	Zweigasbetrieb	11
7.1.7.3	Brenngassystem bei Mehrmotorenanlagen und hohen Gasdrücken	11
7.1.7.4	Hinweise zum Einbau von Gasregelstrecken	12
7.1.7.5	Hinweise zu den Abblase- und Atmungsleitungen an Gasregelstrecken	12
7.1.8	Gasmischer	14
7.1.9	Drosselklappe	15
7.1.10	Anfahren von Biogasanlagen	15
7.2	Hinweise zur Installation und Wartung von Gasanlagen	15
7.2.1	Vorschriften	15
7.2.2	Wartung, Instandhaltung	16

7. Brennstoffsystem

7.1 Gasförmige Brennstoffe

Die mit brennbaren Gasen betriebenen Motoren arbeiten als 4-Takt-Motoren nach dem Otto-Prinzip. Das Gas-Luft-Gemisch wird dem Brennraum zugeführt, die Verbrennung wird durch Fremdzündung über eine Zündkerze eingeleitet.
Als Brenngase kommen im wesentlichen Erdgas, Klärgas, Deponiegas und Biogas zum Einsatz. Wegen ihres geringeren Heizwertes gegenüber Erdgas bezeichnet man z.B. Klärgas, Deponiegas und Biogas auch als Schwachgase. Die Hauptbestandteile der Gase sind Kohlenwasserstoffe (Methan, Ethan, Butan und Propan) sowie Stickstoff und Kohlendioxid.
Die Mindesteigenschaften von Brenngasen sind gemäß den Angaben im technischen Rundschreiben für Brenngas einzuhalten.
Für den Einsatz der Motoren mit Sondergasen wie z.B. Erdölbegleitgas, Grubengas usw. ist Rücksprache im Stammhaus zu halten.

7.1.1 Die Methanzahl

Für die Verwendung eines Gases im Gasmotor ist die Klopffestigkeit eine wichtige Eigenschaft, d.h. das Gasgemisch darf sich nicht vor der Zündung selbst entzünden und nicht nach der Zündung schlagartig durch Selbstzündeffekte detonieren.
Die Klopffestigkeit eines Gases wird nach der Methanzahl bewertet. Sie gibt an, wann ein zu beurteilendes Brenngas im Prüfmotor die gleichen Klopfeigenschaften zeigt wie ein Vergleichsgemisch aus einer Mischung von Methan und Wasserstoff. Für einen klopfsicheren Betrieb der eingesetzten Gase muss die Methanzahl nach den Datenblättern eingehalten werden. Die Methanzahl für ein Brenngas kann anhand einer Gasanalyse ermittelt werden. In einer Arbeitskarte ist die Vorgehensweise bei der Entnahme von Gasproben beschrieben. Diese Arbeitskarte ist allen Betriebsanleitungen beigefügt.

7.1.2 Begleitgase / Begleitstoffe

Begleitgase sind bei Klärgasen und Biogasen in erster Linie Schwefelwasserstoffanteile. Deponiegase sind insbesondere durch Chlor- und Fluor-Kohlenwasserstoffe kontaminiert. Dadurch treten bei der Verbrennung schweflige Säure, Salzsäure und Fluorsäure in den Verbrennungsgasen auf, die für das Triebwerk, die Ölstandzeit und das gesamte Abgassystem schädlich sind. Zur Vermeidung von Schäden im anlagenseitigen Abgassystem durch Taupunktunterschreitung von Säuren dürfen diese Abgase nicht unter 180°C abgekühlt werden. Bei Abkühlung unter 180°C muss das Brenngas entsprechend aufbereitet werden (z.B Entschwefelung).

Deponiegase sind außerdem häufig mit gasförmigen Siloxanen verunreinigt. Diese fallen bei der Verbrennung im Gasmotor als Siliziumdioxid aus und bilden Ablagerungen, die ebenfalls zu vorzeitigem Verschleiß an Triebwerk, Kolben und Laufbuchsen führen. Hier ist eine Gasaufbereitung unumgänglich.
In dem technischen Rundschreiben für Brenngas sind die Mindesteigenschaften von Brenngasen dargestellt. Diese Angaben beziehen sich nur auf den Betrieb der Gase in den Motoren. Wenn Anlagen mit Katalysatoren im Abgassystem ausgerüstet werden, müssen zu den angegebenen Mindesteigenschaften für den Motor weitere Einschränkungen je nach ausgewähltem Katalysationsverfahren berücksichtigt werden. In der Regel ist eine Gasaufbereitung vorzusehen.
Die zur Anwendung kommenden Gase müssen auf diese Schadstoffe hin genau untersucht und anhand der Grenzwerte beurteilt werden.

7.1.3 Wasserdampf, Kohlenwasserstoffdämpfe, Staub im Gas

Um in allen auftretenden Betriebszuständen, auch bei kalt gestartetem Motor, eine Kondensation im Motor auszuschließen, muss der Wasserdampfgehalt im Motor beschränkt werden. Im Brenngas darf eine relative Feuchte 80% bei der niedrigsten Gastemperatur nicht überschritten werden. Höhere Feuchtegrenzwerte müssen genehmigt werden.
Dämpfe höherer Kohlenwasserstoffe führen zu einer Absenkung der Methanzahl. Bei Kondensation dieser Dämpfe im Ansaugtrakt kommt es zu einer heterogenen Tröpfchenverbrennung. Es besteht die Gefahr einer klopfenden Verbrennung. Auch die Abgasreinhaltungsvorschriften sind dann nicht mehr einzuhalten.
Der Staubgehalt (Partikelgröße 3-10 µm) im Gas ist auf 10 mg/m³nCH4 im Brenngas beschränkt. Höhere Staubgehalte dieser Korngröße führen neben möglichen Ablagerungen zu einer stärkeren Verschmutzung des Schmieröls, wodurch auch der Verschleiß erhöht wird.

7.1.4 Gaskühltrocknung

Für alle biogenen Sondergase und alle Gase, die die Grenze von 80% relativer Feuchte überschreiten, gilt, dass das Brenngas getrocknet werden sollte. Eine technisch sinnvolle Variante dazu ist die Gaskühltrocknung. Biogas (aus nachwachsenden Rohstoffen), Klärgas und Deponiegas sind in der Regel Feuchte gesättigt und damit zu feucht zur direkten Nutzung. Als Nebeneffekt der Gaskühltrocknung werden auch Schadstoffe aus dem Gas ausgewaschen. Speziell wasserlösliche Stoffe (z.B. Ammoniak) finden sich im Kondensat wieder.
Der minimale Aufbau einer Gaskühltrocknung besteht aus einer Gaskühlung, einer Tropfenabscheidung und einer Erwärmung des Gases. Die Gaskühlung, meist mit einem Kaltwassersatz ausgeführt, senkt den Taupunkt und damit den absoluten Feuchtegehalt im Brenngas. Die Tropfenabscheidung muss gewährleisten, dass auch kleine Tropfen, die vom Gasstrom mitgerissen werden, abgetrennt werden und in der Nacherwärmung nicht wieder verdampfen. Die Nacherwärmung verändert zwar die absolute Feuchte nicht, dafür aber die relative. Erst mit diesem Schritt wird das Gas getrocknet. Die Nacherwärmung besteht

entweder aus einem wasserbeheizten Gaserwärmer, einem Gas-Gas-Wärmetauscher, der die Wärme des in die Kühlung eintretenden Gases nutzt oder aus dem Wärmeeintrag eines Verdichters.
Andere Aufbauten sind möglich, wenn die Funktion gewährleistet ist. Erdverlegte Gasleitungen machen in den Leistungsklassen, in denen der Aggregate-Hersteller Produkte anbietet, wenig Sinn, weil sie in der Regel nicht geeignet sind, das Gas über das ganze Jahr zu kühlen.

7.1.5 Aktivkohlefilter

Zur Feinentschwefelung von Biogas hat sich die dotierte/imprägnierte Aktivkohle durchgesetzt. Während mit biologischen Verfahren recht zuverlässig und günstig die höheren Schwefelwasserstoff-Frachten im Biogas abgebaut werden können, reichen biologische Verfahren in der Regel nicht aus, um das Biogas so weit zu entschwefeln, dass gefahrlos ein Oxidationskatalysator mit anschließendem Abgaswärmetauscher im Abgastrakt verbaut werden kann.
Die dotierte/imprägnierte Aktivkohle (häufig Kalium-Jodid) adsorbiert den Schwefelwasserstoff (H_2S) an der Kohleoberfläche und oxidiert ihn dort katalytisch zu Elementarschwefel (S). Während H_2S als Gas auch wieder desorbiert werden kann (ein Grund kann sein warmes oder feuchtes Brenngas, z.B. durch den Ausfall der Gaskühltrocknung), kann Elementarschwefel als Feststoff nicht desorbiert werden. Durch diese chemische Reaktion ist also der Schwefel stärker auf der Kohle gebunden. Daneben ist auch die Beladungsfähigkeit der Aktivkohle höher. So liegt die Beladungsfähigkeit bei guten Aktivkohlen unter guten Betriebsbedingungen (siehe Herstellerhinweise) bei 500 g Schwefel pro 1 kg Aktivkohle und mehr. Dadurch sind auf vielen Biogasanlagen verhältnismäßig große Standzeiten von 2000-8000 Bh zu erreichen.
Wenn die Aktivkohle von der Gasströmung (Anströmgeschwindigkeit und Druckverlust) richtig ausgelegt ist und die notwendigen Verweilzeiten des Brenngases in der Aktivkohleschicht eingehalten werden, ist iodierte Aktivkohle in der Lage, die H_2S-Fracht so weit abzusenken, dass diese mit Feldmesstechnik nicht mehr nachweisbar ist. Dieser Reinigungsgrad hält sich über die gesamte Standzeit. Die Reaktivität der Aktivkohle ist sehr hoch, so dass die Aktivkohle gedanklich geteilt werden kann in drei Schichten: Die unbeladene Aktivkohle vor der Adsorptionszone, die Adsorptionszone, in der die Adsorption stattfindet (klein im Verhältnis zum Behälter) und die beladene Schicht hinter der aktiven Schicht. Die Adsorptionszone wandert in Gasströmungsrichtung durch den Adsorber. Am Gasaustritt kann durch Messung der H_2S-Gehalte diese Wanderung der Adsorptionszone nicht gemessen werden. Es besteht also keine Möglichkeit am Austritt die Beladung des Adsorbers festzustellen.
Wenn die Adsorptionszone den Austritt aus dem Adsorber erreicht, steigt die H_2S-Fracht innerhalb weniger Tage auf die volle Eingangskonzentration. Dieser Vorgang heißt Durchbruch und muss, weil er so schnell verläuft, technisch verhindert werden.
Eine Möglichkeit ist, eine permanente H_2S-Überwachung in der Aktivkohleschicht mit etwas Abstand zum Gasaustritt vorzusehen, so dass durch Beprobung des Gases aus der Aktivkohleschicht eine Vorwarnung erzeugt werden kann. Dadurch kann vor dem Durchbruch der Adsorptionsfront durch die Aktivkohle die Aktivkohle gewechselt werden, wobei immer auch eine gewisse Menge nicht beladener Aktivkohle entsorgt werden muss.

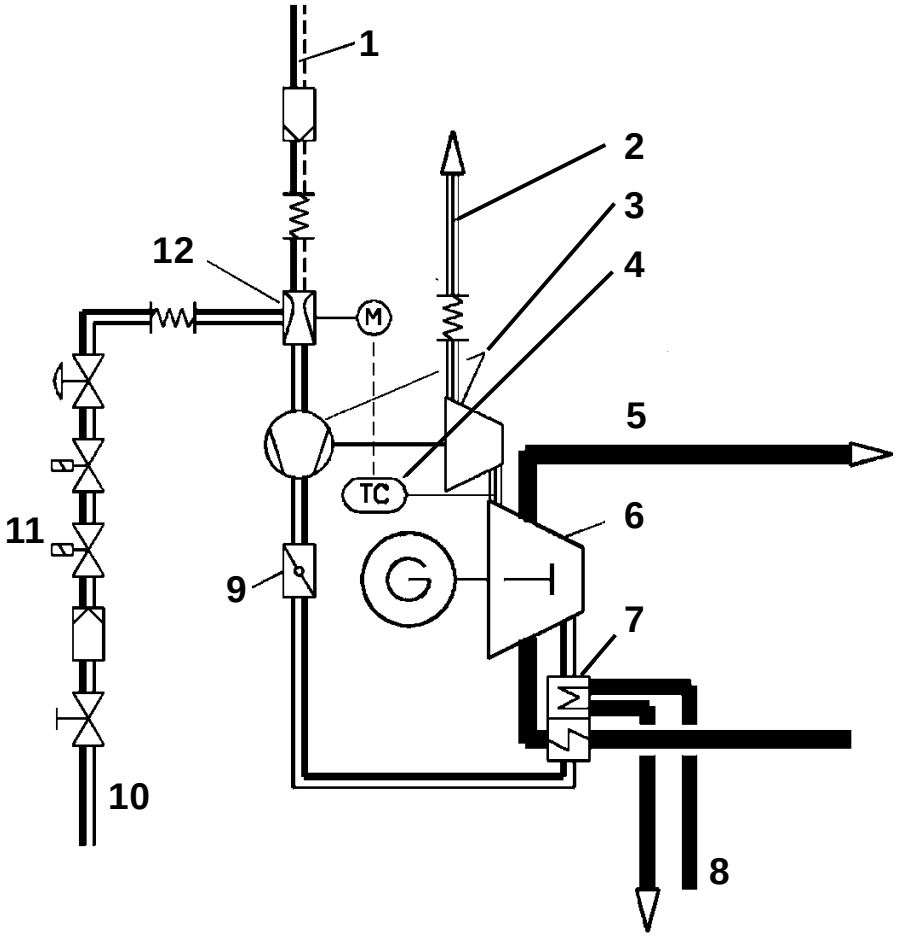
Ein anderer Ansatz ist es, zwei getrennte Aktivkohleschüttungen vorzuhalten. Einen Arbeitsfilter, in dem adsorbiert wird und einen Polizeifilter, der bei Durchbruch des Arbeitsfilters sicherstellt, dass das Gas weiterhin feinentschwefelt wird. Mit einer kontinuierlichen H_2S-Konzentrationsmessung zwischen den beiden Schichten, ist eine Aussage zum Durchbruch des Arbeitsfilters möglich. Bei einem Wechsel wird der Arbeitsfilter, der jetzt voll beladen ist, entsorgt, der Polizeifilter wird neuer Arbeitsfilter und der Polizeifilter wird mit frischer Aktivkohle gefüllt. Dies kann durch Umfüllen oder durch eine entsprechendes Klappensystem realisiert werden. Wenn der Polizeifilter groß genug ausgeführt wird (z.B. so groß wie der Arbeitsfilter), kann der Wechsel des Arbeitsfilters hinausgezögert werden. Dadurch kann der Aktivkohlewechsel mit Wartungsarbeiten am Motor synchronisiert werden.
Die Aktivkohle darf nicht mit einem Bypass gebrückt werden können. Erstens ist dann schlecht nachzuweisen, dass dieser Bypass nicht betätigt worden ist und damit das Brenngas die geforderte Qualität hatte. Und zweitens reichen auch kurze Betriebszeiten mit H_2S-haltigem Brenngas, um durch den Abgaskatalysator Schwefelsäure zu bilden, die im Abgaswärmetauscher kondensiert.
Die Beladungsfähigkeit der Aktivkohle ist auch abhängig von Gasfeuchte und –temperatur. Im allgemeinen sollte das Gas getrocknet werden (aber nicht zu trocken sein) und sollte auch nicht zu kalt sein, da hierdurch die chemische Reaktion auf der Oberfläche der Aktivkohle gebremst wird. Die genauen Zielwerte sind den Datenblättern der Aktivkohlen zu entnehmen. Wegen der besser kontrollierbaren Gaszustände sollte bei einem Einsatz von Aktivkohle eine Gaskühltrocknung mit Nacherwärmung zur Konditionierung vorgeschaltet werden.

Nicht mit der H_2S-Adsorption zu vergleichen ist die Adsorption von siliziumorganischen Kohlenwasserstoffen. Diese finden sich in Klärgas und Deponiegas und teilweise auch im Brenngas von Biogasanlagen, die der Abfallverwertung dienen.
Für siliziumorganische Verbindungen werden nicht dotierte Aktivkohlen eingesetzt. Diese Adsorbieren die Schadstoffe auf der Oberfläche. Dort findet aber keine chemische Reaktion statt, so dass die adsorbierten Stoffe auch wieder desorbiert werden können.
Zwei weitere Hürden sind, dass erstens die Beladungsfähigkeit für Kohlenwasserstoffe nicht sehr hoch ist und eher in der Größenordnung von Prozenten liegt, zweitens nicht nur siliziumorganische Verbindungen adsorbiert werden, sondern alle Kohlenwasserstoffe adsorbiert werden (obwohl reine Kohlenwasserstoffe in der motorischen Verbrennung keine Probleme erzeugen und deswegen nicht abgereinigt werden müssten).
Während also für die Feinentschwefelung ein zuverlässiges wirtschaftliches System zur Verfügung steht, ist die Entfernung anderer Schadstoffe mittels Aktivkohle deutlich aufwändiger und kostspieliger, so dass hier eine entsprechende Abwägung gemacht werden muss.

7.1.6 Gemischaufbereitung

Die Regelung der Abgasemissionen des Gasmotors wird über eine Gasgemisch-Steuerung durchgeführt. Die Hauptkomponenten für die Aufbereitung des Gas-Luftgemisches vor dem Eintritt in den Brennraum sind die Gasregelstrecke, der Venturimischer und die Drosselklappe.
Abb. 7.2 zeigt u.a. die Komponenten der Gemischaufbereitung bei Magerverbrennung.

Abb. 7.2 **Prinzip der Magerverbrennung mit Turboaufladung, Zweikreiskühlung und Brennraumtemperaturregelung**

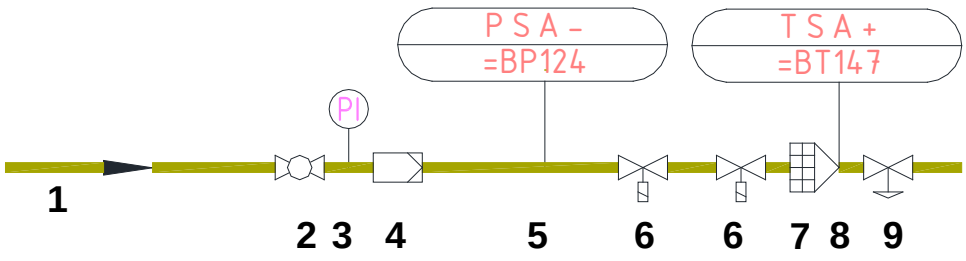


1	Verbrennungsluft
2	Abgas
3	Turbolader
4	Brennraumtemperaturmessung
5	Kühlwasser
6	Motor
7	Gemischkühler
8	NT-Gemisch-Kühlwasser
9	Drosselklappe
10	Gas
11	Gasregelstrecke
12	Mischer mit Stellmotor für Gemischregelung

7.1.7 Gasregelstrecke

Für den Betrieb der Gasmotoren dürfen generell nur vom Aggregate-Hersteller freigegebene Gasregelstrecken eingesetzt werden. Vor der Mischung von Gas und Luft im Venturimischer muss Druckgleichheit von Gas und Luft hergestellt werden. Das wird von dem Membran-Nulldruckregler in der Gasregelstrecke übernommen. Den prinzipiellen Aufbau einer Gasregelstrecke zeigt Abb.7.3. Die Nulldruckregler sind als Regler ohne Hilfsenergie ausgeführt. Am Eintritt einer Gasregelstrecke befindet sich ein manuell zu betätigender Kugelhahn. Danach ist zum Schutz vor Unreinheiten ein Gasfilter eingebaut. Der Filtereinsatz besteht aus einer Filtermatte, der Filterungsgrad beträgt ca. 85 % für Teilchen >5 µm. Danach folgen zwei Absperrventile, die je nach Nennweite als Magnetventile oder als pneumatisch betätigte Ventile ausgeführt sind. Bei Betrieb mit Brenngasen, die Sauerstoff enthalten können, z.B. Deponiegas und Klärgas, wird hinter den beiden Absperrventilen eine Flammenrückschlagsicherung mit Temperaturüberwachung vorgesehen. Schließlich folgt der Nulldruckregler. Vor den Magnetventilen ist immer ein Druckminimumwächter angebaut. Je nach den für die Anlage geforderten Sicherheitsauflagen können die Gasregelstrecken mit Dichtheitskontrolle oder Zwischenentlüftungsventil bzw. Druckmaximumwächter ausgerüstet werden.
Die Nulldruckgasregelstrecken werden mit einem Vordruck bis zu 200 mbar betrieben.. Bei höheren Vordrücken ist entweder eine spezielle Auslegung der Gasregelstrecke oder eine Vorregelstrecke erforderlich.

Abb. 7.3 Gasregelstrecke

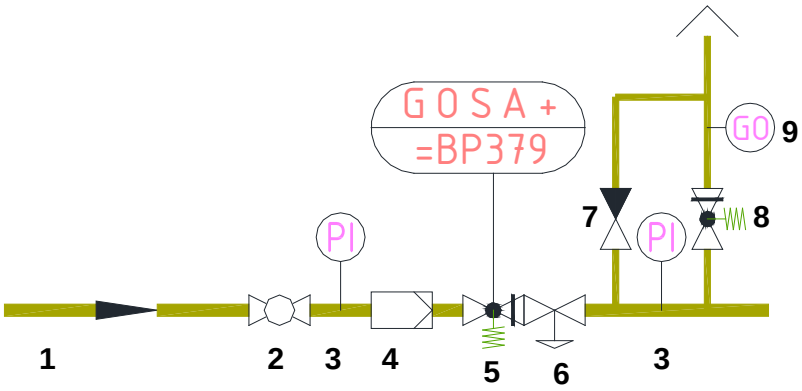


1	Gas	6	Magnetventil*
2	Kugelhahn	7	Flammenrückschlagsicherung*
3	Manometer	8	Temperaturfühler
4	Gasfilter	9	Nulldruckregler
5	Druckwächter		* nicht bei Erdgas

7.1.7.1 Vorregelstrecke

Die Gasvorregelstrecke reduziert den Gasdruck auf unter 200 mbar. Die Hauptkomponenten der Vorregelstrecke sind der Kugelhahn am Eintritt, der Gasfilter, das Gas-Druckregelgerät mit Sicherheitsabsperreinrichtung (SAV) und das Sicherheitsabblaseventil (SBV). Das Sicherheitsabsperrventil schließt die Gaszufuhr ab, wenn der Ausgangsdruck hinter der Vorregelstrecke den eingestellten Grenzwert überschreitet. Kleinere Druckstöße, die z.B. beim Schließen der Magnetventile in der stromab liegenden Gasregelstrecke auftreten, werden durch Öffnen des Abblaseventils gegen Federkraft abgefangen. In der Abb. 7.4 ist eine Gas-Vorregelstrecke dargestellt.

Abb. 7.4 Vordruckregelstrecke



1	Gas	6	Druckregler
2	Kugelhahn	7	Entlüftungshahn
3	Manometer	8	Sicherheitsabblaseventil (SBV)
4	Gasfilter	9	Anzeige für Leckgasmengen
5	Sicherheitsabsperrventil (SAV)		

7.1.7.2 Zweigasbetrieb

Jede Gasart benötigt eine eigene Gasregelstrecke mit Filterung, Absperrventilen und der genauen Druckhaltung. Die beiden Gasarten werden nach dem Durchströmen der Gasregelstrecken über eine gemeinsame Rohrleitung dem Motor zugeführt.
Zweigasbetrieb ist nur mit einem Multigasmischer (verstellbarer Spalt) möglich.
Das Umschalten von einer Gasart in die andere erfolgt bei Stillstand des Motors durch Umschalten der Magnetventile an den Gasregelstrecken.
Darüber hinaus kann bei speziellen Anforderungen das Gas vor der Gasregelstrecke gemischt werden. Das ist bei jedem einzelnen Fall zu prüfen und auszulegen.

7.1.7.3 Brenngassystem bei Mehrmotorenanlagen und hohen Gasdrücken

Bei Mehrmotorenanlagen, die an ein Gasnetz mit höheren Vordrucken (0,5-10 bar) angeschlossen sind, wird empfohlen, jedes Aggregat mit einer Vor- und Nulldruckregelstrecke auszurüsten. Diese Ausführung hat den Vorteil, dass die Gassammelleitung zu den Aggregaten mit einem kleineren Querschnitt ausgeführt werden kann. Weiterhin hat das System eine höhere Stabilität gegenüber Druckschwankungen, die durch das An- und Abstellen von einzelnen Aggregaten hervorgerufen werden.

7.1.7.4 Hinweise zum Einbau von Gasregelstrecken

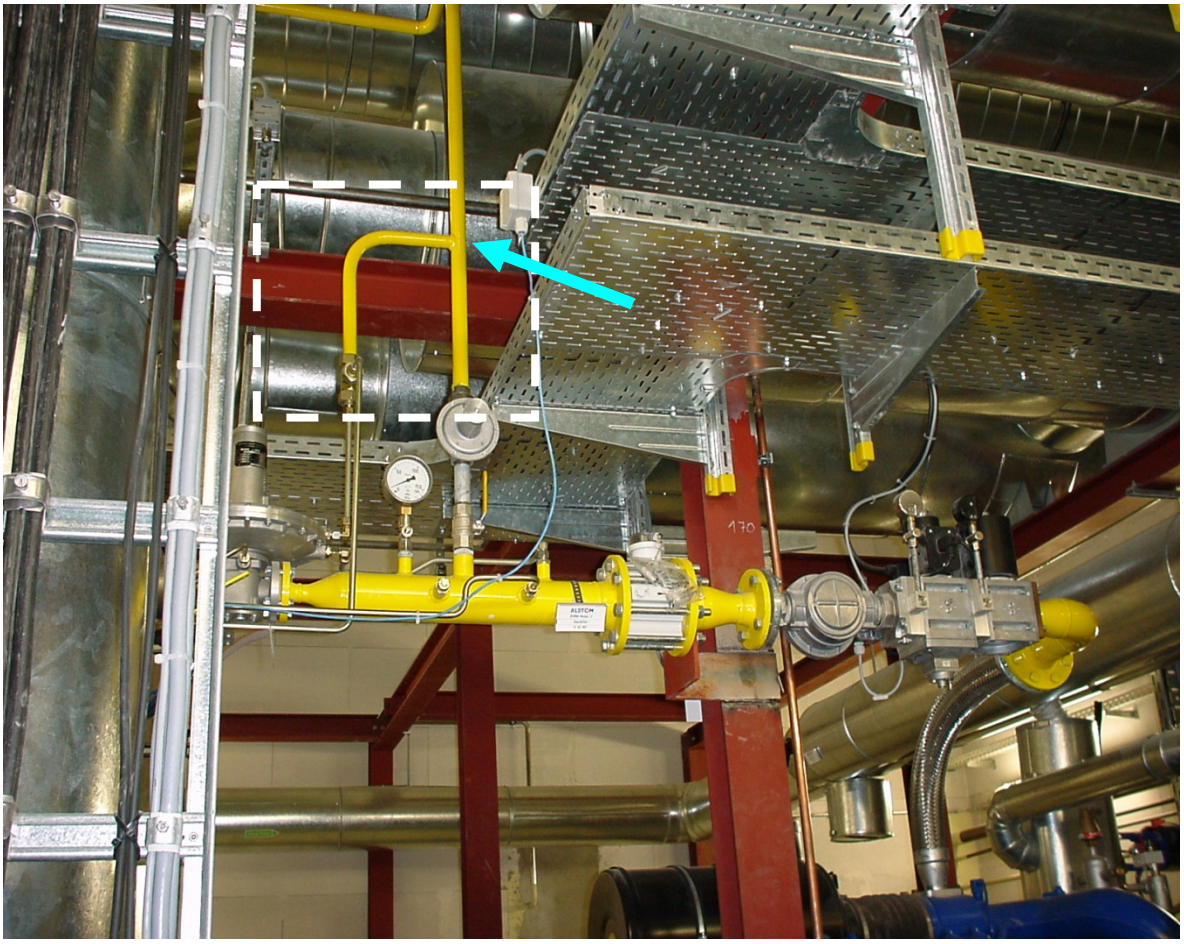
Die Gasregelstrecke ist im gleichen Raum wie der Gasmotor anzuordnen, damit der Druckregler auf Veränderungen des Ansaugluftdrucks reagieren kann.
Beim Einsatz von aggressiven Gasen wie etwa Klär-, Bio- oder Deponiegas darf für gasführende Teile kein Buntmetall (Messing) verwendet werden.
Gas-Druckregelgeräte und Rohrleitungen sind ohne Verspannungen einzubauen. Der Pfeil auf dem Stellgliedgehäuse muss in Durchflussrichtung zeigen. Die Einbaulage der Gasregelstrecke ist waagerecht. Regler und Kontrollgeräte sind grundsätzlich in Normallage anzuordnen.
Abblasleitungen vom Sicherheitsabblaseventil (SBV) sind mit ausreichendem Querschnitt aus dem Maschinenraum ins Freie zu führen.
Die Gasregelstrecken sind möglichst nahe an dem Gasmotor anzuordnen. Der maximale Abstand zwischen Austritt Gasregelstrecke und Eintritt Gasmischer am Gasmotor darf 3 m nicht überschreiten und in diese Leitung dürfen maximal drei 90° Bögen eingebaut werden.
Hinweis: Da vor dem Eintritt in den Gasmotor keine weitere Filterung des Gases erfolgt, muss die Leitung zwischen Gasregeltrecke und Gasmischer innen gesäubert werden. Siehe auch Kapitel 20.1.
In Brenngasgemischen, die auch Sauerstoff als Komponente enthalten (z.B. Klär-, Bio- und Deponiegas), kann es zu Rückzündungen in der Gasleitung kommen. Um ein Durchschlagen einer Flamme in die gaszuführende Leitung zu vermeiden, sind dauerbrandsichere Flammenrückschlagsicherungen mit Temperaturüberwachung in den Standard-Gasregelstrecken enthalten. Bei den eingebauten Flammenrückschlagsicherungen ist zwischen Motor und Gasregelstrecke ein Abstand von maximal 40xDN der Gasleitung zulässig. Bei größeren Abständen muss eine dauerbrandsichere Detonationssicherung vorgesehen werden.
Der Anschluss am Motor erfolgt über einen flexiblen Schlauch, der als 90° Bogen verlegt wird, oder einem speziell dafür ausgelegten Kompensator, welcher spannungsfrei eingebaut werden muss.
Je nach Ausrüstung der Anlage kann in der Zuleitung zu den Motoren vor der Regelstrecke ein Gasmengenzähler installiert werden.
Die Auswertegeräte für die Temperaturüberwachung bei der Flammenrückschlag-Sicherung, für das SAV in der Vorregelstrecke und für die Gasmengenzähler sind in die Schaltanlage einzubauen.
Zur Absicherung der Gasmotorenanlage muss in der Gasanschlussleitung außerhalb des Maschinenraumes an einer ungefährdeten Stelle eine von Hand bedienbare Absperrvorrichtung vorhanden sein. Diese Absperreinrichtung ist im Gefahrenfall schnell zu schließen. Es werden fernbedienbare Ventile mit ständig zur Verfügung stehender Hilfsenergie (z.B. Schließfeder) empfohlen.

7.1.7.5 Hinweise zu den Abblase- und Atmungsleitungen an Gasregelstrecken

Leitungen zur Atmosphäre sind ohne Querschnittsverengung (Druckverlust beachten) in der vom Hersteller des Gas-Druckregelgerätes und der Sicherheitseinrichtung vorgesehenen Dimensionierung zu verlegen.

Atmungsleitungen dürfen nicht absperrbar sein. Abblase- und Entspannungsleitungen dürfen grundsätzlich nicht mit Atmungsleitungen in eine Sammelleitung zusammengeführt werden. Ausgenommen sind Leitungen zur Atmosphäre an Geräten, in denen Atmungs- und Sicherheitsabblaseeinrichtungen apparativ zusammengefasst sind. Abb. 7.5 zeigt eine Vorregelstrecke, die diese Vorgabe nicht erfüllt, da die Abblase- und Atmungsleitung zu einer Leitung zusammengefasst wird, dies ist nicht zulässig.
Die Ausmündungen von Ableitungen ins Freie müssen von Zündquellen weit genug entfernt, gegen Außenkorrosion geschützt, zum Schutz gegen Verstopfen mit geeigneten Einrichtungen versehen und so angeordnet sein, dass ausströmendes Gas nicht in geschlossene Räume eintreten oder auf andere Weise unzumutbare Belästigung oder Gefährdung verursachen kann.

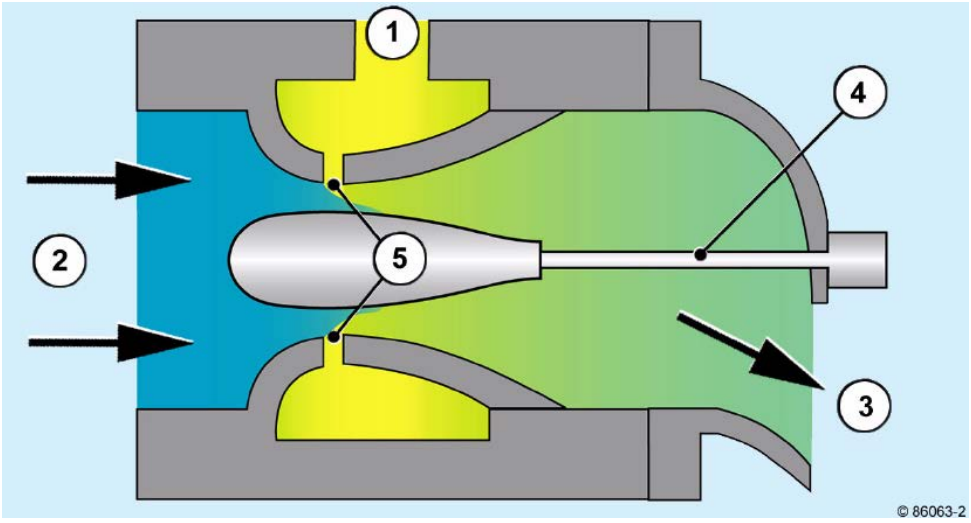
Abb. 7.5 Vorregelstrecke mit nicht zulässiger Zusammenführung der Abblase- und Atmungsleitung



7.1.8 Gasmischer

Die Mischung von Luft und Gas erfolgt im Mischer. Der Mischer ist als Venturi-Rohr ausgeführt. Dabei strömt die Luft durch eine düsenartige Verengung und danach durch einen sich allmählich erweiternden Diffusor. In der Verengung wird die Strömung beschleunigt und im Diffusor wieder möglichst verlustarm verzögert. Bei der Beschleunigung in der Verengung (Düse) entsteht Unterdruck, so dass im engsten Querschnitt an einem Spalt das Gas selbsttätig dazugesaugt wird. Bei der anschließenden Verzögerung steigt der Druck wieder auf nahezu Atmosphärendruck an, so dass der Mischvorgang ohne großen Druckverlust stattfindet.
Der Vorteil dieser Mischungsart ist, dass die Mengen von Luft und Gas zueinander im gleichen Verhältnis bleiben, auch wenn sich für eine Leistungsveränderung die Drosselklappenstellung und damit auch der zentrale Luftmassenstrom ändert.
Zum Einsatz kommt ein Multigas-Mischer, bei dem die Spaltgeometrie im Mischer selbst über einen Stellmotor verändert wird. Voraussetzung für die exakte Beibehaltung des Mischungsverhältnisses Gas zu Luft ist, dass der Gasdruck vor dem Zumisch-Spalt gleich dem Luftdruck vor dem Venturi-Rohr ist. Abb. 7.6 zeigt das Prinzip eines Gas-Luftmischers mit verstellbarem Spalt.

Abb. 7.6 Multigas-Mischer



1	Gaseintritt
2	Lufteintritt
3	Gas-Luft-Gemischaustritt
4	Verbindungsgestänge zum Schrittmotor
5	Gasspalt

7.1.9 Drosselklappe

Über die Drosselklappe wird die Menge des verdichteten Gemisches zum Motor und damit letzten Endes die vom Motor abgegebene Leistung bzw. Drehzahl geregelt.

7.1.10 Anfahren von Biogasanlagen

Wenn in der Anfangsphase noch kein Biogas vorhanden ist, kann man zum Anfahren Alternativgase verwenden. Zulässige Alternativgase und Motoreinstellungen sind in einem technischen Rundschreiben festgehalten.
Durch die eingeschränkte maximale mechanische Leistung und ggf. höheren Heizwert Hu des Alternativgases ist die installierte Biogasregelstrecke normalerweise ein paar Nummern zu groß. Aus diesem Grund muss der Eingangsdruck des Alternativgases möglichst niedrig einstellbar sein (ca. 5-30 mbar).
Der Einsatz von festen Blenden zur Absenkung des Eingangsdruckes ist nicht möglich (zu geringer Volumenstrom beim Start bzw. im Leerlauf).
Die entsprechende Verstellung des Nulldruckreglers muss durch einen autorisierten Inbetriebnehmer durchgeführt werden.

7.2 Hinweise zur Installation und Wartung von Gasanlagen

7.2.1 Vorschriften

Bei der Installation von Gasleitungen und Komponenten in dem Gas-System sind erhöhte sicherheitstechnische Auflagen zu beachten.
Hier sind bei der Ausführung von Arbeiten am System als auch bei der Auswahl von Komponenten die Vorschriften nach DIN, TRD, DVGW usw. einzuhalten. Die wichtigsten Vorschriften sind folgende:

DIN 6280-14	„Blockheizkraftwerke mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren – Grundlagen, Anforderungen, Komponenten, Ausführungen und Wartung
DIN 6280-15	„Blockheizkraftwerke mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren - Prüfungen“
DIN EN 161	Automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte“
DIN EN 14382	Sicherheitseinrichtungen für Gas-Druckregelanlagen und –einrichtungen – Gas-Sicherheitsabsperreinrichtungen für Betriebsdrücke bis 100 bar
DIN 3394	„Automatische Stellgeräte“ (Teil 2 von DIN 3394 ist ersetzt worden durch DIN EN 161)
G 262	„Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung"
G 490/I	„Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke bis 4 bar“

G 491	„Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke über 4 bis 100 bar“
G 493/I	„Qualifikationskriterien für Hersteller von Gas-Druckregel- und Messanlagen“
G 495	„Gas-Druckregelanlagen und Anlagen für die Großgasmessung – Überwachung und Wartung“
G 600	„Technische Regeln für Gasinstallation“
GUV-R 127	„Sicherheitsregeln für Deponien“
GUV 17.5	„Sicherheitsregeln für Abwasserbehandlungsanlagen – Bau und Ausrüstung“
BGV – D2 50	„Arbeiten an Gasleitungen“

- Nach der Installation der Gasleitung und Armaturen muss durch einen Sachkundigen die fachgerechte und den gesetzlichen Vorschriften entsprechende Montage bestätigt werden.
- Vor Inbetriebnahme der Gasstrecke ist ein entsprechender Antrag rechtzeitig an die zuständige Behörde zu stellen.

7.2.2 Wartung, Instandhaltung

Bei Arbeiten an Gasleitungen sind u.a. die Vorschriften BGV-D2 und das DVGW-Arbeitsblatt G 495 zu beachten. Insbesondere ist zu beachten, dass Arbeiten am Gas-System (z.B. Öffnen einer Gasregelstrecke, Demontage und Wartung eines Gerätes) nur in drucklosem Zustand erfolgen darf und nur von unterwiesenen und qualifizierten Fachkräften durchgeführt werden darf. Bei den Instandhaltungs-Intervallen sind die für den jeweiligen Betrieb vom Gerätehersteller angegebenen Empfehlungen für die Durchführung von Sichtkontrolle, Inspektion, Funktionsprüfung und Wartung unbedingt einzuhalten.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 8

Schmierölsystem

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

8.	**Schmierölsystem**	**3**
8.1	Aggregat	3
8.2	Anlage	3
8.2.1	Frischöltank	4
8.2.2	Altöltank	4
8.2.3	Tagestank	4
8.2.4	Containeranwendungen	4
8.3	Schmierölaufbereitung	4
8.3.1	Gasmotoren	4
8.4	Schmierölsorten	4
8.5	Schmieröl bei Biogasanwendungen	5
8.6	Motorvorschmierung	5
8.7	Schmierölwechsel, Schmierölnachfüllung	5

8. Schmierölsystem

8.1 Aggregat

Die Schmierölsysteme der Motoren sind als Nasssumpfschmierung ausgeführt. Tabelle 8.1 zeigt die für die Motorbaureihen angewandten Schmierölsysteme.

Tab. 8.1

Motortyp	Nass-Sumpf Ölwanne am Motor	Erweiterter Öltank im Grundrahmen	Externer Öltank in der Anlage
TCG 2016 C	■		■
TCG 2020	■	■	
TCG 2032	■		

Alle Motorbaureihen verfügen über angebaute Schmieröldruckpumpen, die Schmierölfilterung und Schmierölkühlung erfolgt über am Motor angebaute oder externe Filter und Ölkühler.
Externe Ölkühler, inklusive Einbauteile, sind auf mindestens 16 bar auszulegen.
Die Aggregate mit Motoren der Baureihe TCG 2020 können optional mit Ölzusatztank im Grundrahmen ausgeführt werden. Bei der Baureihe TCG 2016 C gibt es die Möglichkeit, einen externen Öltank in der Anlage vorzusehen. Durch ein vergrößertes Schmierölvolumen werden je nach Ölqualität und Art des Brenngases deutlich erhöhte Schmierölstandzeiten erreicht.

8.2 Anlage

Bei der Baureihe TCG 2032 sind die Komponenten für den externen Schmierölkreislauf (z.B. Wärmetauscher) auf dem Niveau des Aggregates oder tiefer anzuordnen, um bei stehender Maschine den Rücklauf von Öl aus diesen Komponenten in die Ölwanne zu verhindern. Bei Anlagen mit TCG 2032 sollte der externe Schmierölkühler möglichst nahe an dem Aggregat aufgestellt werden, damit die Schmierölmenge in dem anlagenseitigen System möglichst klein gehalten wird.

8.2.1 Frischöltank

Der Frischöltank sollte so angeordnet sein, dass er sich durch Schwerkraft nicht in den Motor entleeren kann. Im Allgemeinen erfolgt die Schmierölnachfüllung mit einer Zahnradpumpe, die für eine definierte Nachfüllmenge sorgt. Diese Ausführung ist einer Nachfüllung mit Schwerkraft zu bevorzugen. Die Größe der Vorratstanks richtet sich nach der Betriebsart der Anlage und der damit verbundenen Ölbevorratung. Als minimale Größe empfiehlt sich die Menge eines Ölwechsels plus die Verbrauchsmenge für zwei Ölwechselintervalle.

8.2.2 Altöltank

Als minimale Größe empfiehlt sich die Menge von zwei Ölwechseln.

8.2.3 Tagestank

Falls ein Tagestank für die Nachfüllung vorgesehen wird, soll er für die Verbrauchsmenge von ca. 200 Bh ausreichend sein (z.B. für TCG 2032 ca. 600 dm3).

8.2.4 Containeranwendungen

In Containern ist das Platzangebot je nach eingebautem Aggregat und Zubehör mehr oder weniger stark eingeschränkt. Hier können die oben gemachten Empfehlungen für die Größe von Frischöl- und Altöltank nur bedingt eingehalten werden.

8.3 Schmierölaufbereitung

Die Schmierölqualität ist mit ein Hauptkriterium für die Lebensdauer der mit Schmieröl beaufschlagten Teile des Motors und damit auch für einen störungsfreien Betrieb der Anlage. Daher ist der Wartung der Schmierölfilter und gegebenenfalls Separatoren besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

8.3.1 Gasmotoren

Die bei den Gasmotoren an den Motoren angebauten Schmierölfilter sind für den uneingeschränkten Betrieb ausgelegt und es sind anlagenseitig keine weiteren Maßnahmen zur Schmierölaufbereitung zu treffen.

8.4 Schmierölsorten

In den technischen Rundschreiben für Schmieröl sind die für die Diesel- und Gasmotoren freigegebenen Schmieröle der namhaften Lieferanten aufgelistet. Andere Schmieröle dürfen ohne Freigabe nicht eingesetzt

werden. Weiterhin sind in diesen Rundschreiben Angaben zu Schmierölwechselintervallen, Gebrauchtöl-Analysen und über die Wartung der am Motor angebauten Schmierölfilter gemacht.
Vor Inbetriebnahme muss eine Analyse des gelieferten Frischöls mit der Werkspezifikation des Herstellers verglichen werden.

8.5 Schmieröl bei Biogasanwendungen

In dem technischen Rundschreiben "Optimierung des Ölmanagements bei Biogasanwendungen" sind für die Gasmotoren zusätzliche Hinweise für das Schmieröl bei Biogas angegeben.

8.6 Motorvorschmierung

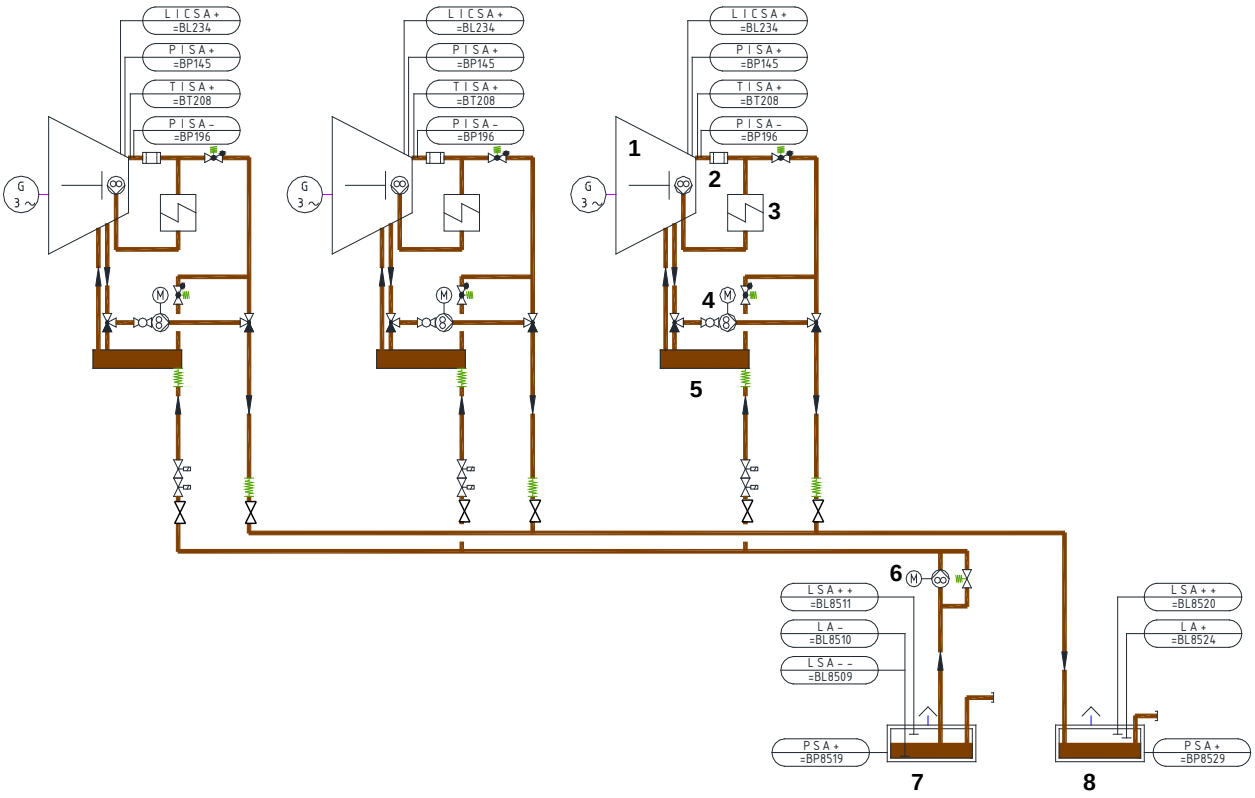
Für alle Motortypen wird generell eine Vorschmierung vorgesehen, weil hierdurch der Motorverschleiß deutlich reduziert wird. Dazu werden elektrisch angetriebene Vorschmierpumpenaggregate eingesetzt, die in den meisten Fällen an dem Aggregategrundrahmen angebaut sind. Die Vorschmierpumpe ist so in dem Schmierölsystem zu installieren, dass beim Vorschmieren alle zwischen Ölpumpe und Motor eingebauten Komponenten (Filter, Kühler) mit Öl durchflossen werden. Die Fördermengen und Förderdrücke der Pumpenaggregate sind auf den jeweiligen Motortyp abgestimmt.
Die Vorschmierung der Motoren erfolgt beim Stillstand der Motoren unmittelbar vor dem Start. Optional kann auch eine sogenannte Intervallvorschmierung vorgesehen werden, d.h. der Motor wird im Stillstand in festgelegten Intervallen für eine definierte Zeit vorgeschmiert.
Bei Anlagen mit Gasmotoren wird die Steuerung der Vorschmierung vom TEM-System übernommen. Bei laufendem Motor ist die Vorschmierung nicht aktiv.
Der TCG 2032 hat keine Intervallvorschmierung und muss daher vor jedem Start vorgeschmiert werden.

8.7 Schmierölwechsel, Schmierölnachfüllung

Gemäß der Betriebsanleitung des jeweiligen Motors sind Schmierölwechsel durchzuführen und bei Dauerbetriebsaggregaten muss der Schmierölverbrauch durch Nachfüllen von frischem Schmieröl kompensiert werden.
Bei dem Schmierölwechsel ist darauf achten, dass auch das Öl in den anlagenseitgen Komponenenten wie z.B. Rohrleitungen, Wärmetauscher usw. gewechselt wird. Dazu sind an den jeweils tiefsten Stellen des anlagenseitigen Systems Ablassmöglichkeiten für das Schmieröl vorzusehen. Je nach Anlagenaufbau ist es zweckmäßig, eine fest installierte oder mobile Entleerpumpe vorzusehen.
Die Nachfüllung mit frischem Schmieröl erfolgt mit der Nachfüllpumpe aus dem Frischöltank. Die Schmierölnachfüllung erfolgt entweder von Hand oder automatisch. Bei Anlagen mit Gasmotoren wird die Schmierölnachfüllung über das TEM-System gesteuert.

In der Schmierölnachfüll-Leitung sind vor dem Motor zwei Magnetventile in Reihe eingebaut. Bei Erreichen des Min-Niveaus in der Ölwanne werden die Magnetventile vom TEM-System geöffnet (und/oder die Nachfüllpumpe gestartet) und so Öl nachgefüllt. Wird das Max-Niveau wieder erreicht, schließen die Magnetventile (und/oder die Nachfüllpumpe wird gestoppt).
Bei Nachfüllung durch Schwerkraft aus dem Tagestank ist darauf zu achten, dass die Leitungen einen entsprechend großen Querschnitt haben und das Öl durch Kälte nicht zu zäh wird.
Zum Entleeren der Ölwanne bei Schmierölwechsel ist die Druckleitung von der Vorschmierpumpe über einen Dreiwegehahn an den Altölbehälter angeschlossen. Bei Schmierölwechsel wird der Dreiwegehahn umgelegt und das Schmieröl wird aus der Ölwanne in den Altölbehälter gepumpt. Mit der Ölnachfüllpumpe wird danach frisches Öl eingefüllt. Der Dreiwegehahn hinter der Vorschmierpumpe wird wieder in die Position “Vorschmieren“ umgelegt. Durch Betätigen der Vorschmierpumpe wird das komplette Schmierölsystem wieder mit Öl befüllt.
Beim Umgang und bei der Lagerung von Frisch- und/oder Altölen sind die jeweiligen Sicherheits- und sonstigen gesetzlichen Vorschriften unbedingt zu beachten.

Abb. 8.1 Schmierölsystem einer Anlage



1	Gasmotor
2	Schmierölfilter
3	Schmierölkühler
4	Vorschmierpumpe
5	Grundrahmen Öltank
6	Frischölpumpe
7	Frischöltank
8	Altöltank

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 9

Verbrennungsluftsystem

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

9.	**Verbrennungsluftsystem**	**3**
9.1	Definitionen	3
9.1.1	Umgebungsluft	3
9.1.2	Ansaugluft / Verbrennungsluft	3
9.2	Anforderungen an die Verbrennungsluft	3
9.2.1	Verbrennungslufttemperatur und Verbrennungsluftdruck	3
9.2.2	Zusammensetzung der Verbrennungsluft	4
9.2.3	Sauberkeit der Verbrennungsluft	6
9.2.4	Tropenbedingungen	7
9.3	Verbrennungsluftmenge	7
9.4	Filterungsarten für die Verbrennungsluft	8
9.4.1	Luftfilter – Papier/Kunststoff	8
9.5	Schalldämpfer	8
9.6	Luftansaugleitung	8
9.7	Druckverluste	9
9.8	Kurbelgehäuse-Entlüftung	9

9. Verbrennungsluftsystem

9.1 Definitionen

9.1.1 Umgebungsluft

Als Umgebungsluft wird die Luft in der freien Umgebung bezeichnet, von der die Gasmotorenanlage mit Luft versorgt wird. Die Umgebungslufttemperatur ist die Temperatur, die in Bodennähe, üblicherweise 2m über dem Boden, gemessen wird und weder von Sonnenstrahlung noch von Bodenwärme oder Wärmeleitung beeinflusst ist.

9.1.2 Ansaugluft / Verbrennungsluft

Die Ansaug- bzw. Verbrennungsluft ist die Luft, die der Gasmotor unmittelbar vor dem Verbrennungsluftfilter vorfindet. Die Ansaug- bzw. Verbrennungsluft erfährt durch das Belüftungssystem der Anlage einerseits eine Filterung und je nach Ausführung der Luftführung und der Belüftungsmenge eine Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebungslufttemperatur.

9.2 Anforderungen an die Verbrennungsluft

9.2.1 Verbrennungslufttemperatur und Verbrennungsluftdruck

In den Datenblättern wird die Motorleistung nach ISO 3046-1 und die elektrische Klemmenleistung des Stromerzeugungsaggregates nach ISO 8528-1 angegeben. In beiden Normen sind bezüglich der Verbrennungsluftparameter folgende Normbezugsbedingungen festgelegt:

Lufttemperatur:	298 K (25°C)
Lufttdruck:	1000 mbar (100 kPa)
Relative Luftfeuchte:	30%

Bei den Leistungsangaben in den Caterpillar Energy Solutions GmBH Standard-Datenblättern wird von diesen Normbezugsbedingen teilweise abgewichen und je nach Motortyp sind spezielle Bezugsbedingungen definiert.
Für Verbrennungslufttemperaturen und Aufstellhöhen, die nach oben von den Bezugsbedingungen abweichen, erfolgt eine Leistungsreduktion.

Für den Start und Betrieb der Motoren gelten folgende Anforderungen bezüglich der Verbrennungslufttemperatur:

Beim Betrieb der Motoren sind die Verbrennungslufttemperaturen (Minimum / Auslegung) laut Datenblättern bzw. RI-Fließbildern einzuhalten.

Für den Start der Motoren sind im Maschinenraum folgende Verbrennungslufttemperaturen sicherzustellen:

Gasmotoren mit Luftvorwärmer oder Wastegate:	**≥ 5 – 10°C**
Gasmotoren ohne Luftvorwärmer und Wastegate:	**≤ 10 K unter Auslegungstemperatur nach Datenblatt bzw. RI-Fließbild**

9.2.2 Zusammensetzung der Verbrennungsluft

Bei der Verbrennungsluft wird von der normalen Zusammensetzung trockener Luft plus einem Anteil Wasserdampf ausgegangen. Der Wasserdampfgehalt in der Luft wird durch die relative Luftfeuchtigkeit bei einem bestimmten Luftdruck und einer bestimmten Lufttemperatur definiert. Grundsätzlich muss die Verbrennungsluft frei von säure- oder basebildenden Bestandteilen sein; z.B. Schwefeldioxid (SO_2) verbindet sich mit Wasser (H_2O) zu schwefeliger Säure. Die Hauptbestandteile trockener Luft in der Höhe von Normalnull (NN) sind in der Tabelle 9.1 angegeben.

Tab. 9.1

Hauptbestandteile trockener Luft	
Gas	**Volumenanteil [%]**
Stickstoff N_2	78,084
Sauerstoff O_2	20,946
Kohlendioxid CO_2	0,035
Argon Ar	0,934
Summe	99,999

Bei den restlichen 0,001 Volumenprozent handelt es sich um sogenannte Spurengase. Im Wesentlichen handelt es sich um die Edelgase Neon (18 ppm), Helium (5 ppm) und Krypton (1 ppm).
In der Umgebung von Industriebetrieben oder chemischen Anlagen kann die Zusammensetzung der Verbrennungsluft bedingt durch das Austreten von Prozessgasen merklich negativ beeinflusst werden, so z.B. durch Schwefelwasserstoff (H_2S), Chlor (Cl), Fluor (F), Ammoniak (NH_3) usw.
In dem Technischen Rundschreiben für Brenngas sind Grenzwerte für den Gehalt von "schädlichen" Begleitgasen wie Schwefel (S), Schwefelwasserstoff (H_2S), Chlor (Cl), Fluor (F) und Ammoniak definiert. Bei

diesen Grenzwerten wird davon ausgegangen, dass die Verbrennungsluft sich wie in Tabelle 9.1 angegeben zusammensetzt, also selbst keinen Schwefel, Schwefelwasserstoff, Chlor usw. enthält. Aus den gegebenen Grenzwerten für die Begleitgase im Brenngas lassen sich auch Grenzwerte für das Gemisch Brenngas/Verbrennungsluft und auch die Verbrennungsluft selbst ableiten.

Beispiel:
In dem Rundschreiben ist der Grenzwert für Ammoniak im Brenngas mit 30 mg/m_n^3 CH_4 angegeben. Bei der Verbrennung von Erdgas (Annahme 100%CH_4) werden zur Verbrennung von 1 Normkubikmeter Erdgas ca. 17 Normkubikmeter Luft benötigt. Daraus lässt sich nun ermitteln, dass der Anteil von Ammoniak in der Verbrennungsluft nur 1,8 (30/17) mg/m_n^3 betragen darf, damit der für das Brenngas angegebene Grenzwert von 30 $mg/m_n^3 CH_4$ eingehalten wird. Wenn das Brenngas selbst bereits Anteile von Ammoniak enthält, reduziert sich der zulässige Anteil in der Verbrennungsluft entsprechend.
In ähnlicher Weise lassen sich obere Grenzwerte für weitere schädliche Begleitgase in der Verbrennungsluft ableiten. Diese sind in Tabelle 9.2 aufgelistet.

Tab. 9.2

Zulässige Belastung der Verbrennungsluft	
Komponente	Anteil [mg/m_n^3 Luft]
Schwefel (gesamt) S oder Schwefelwasserstoff H_2S	< 130 < 135
Chlor (gesamt) Cl Fluor (gesamt) F oder Summe Chlor und Fluor	< 5,9 < 2,9 < 5,9
Ammoniak NH_3	< 1,8
Öldämpfe >C5<C10 Öldämpfe >C10	< 176 < 14,7
Silizium (organisch) Si	< 0,59

Säurebildner wie SO2, SO3, HCl oder HF (aber auch andere Stoffe) sind in der Verbrennungsluft grundsätzlich nicht zugelassen. Da es besonders bei warmen und feuchten Bedingungen (z.B. Tropen) im Gemischkühler zu Kondensation kommen kann, würde es hier zu Säureangriffen kommen. Säurebildner im Abgastrakt sind weniger kritisch, weil hier der Taupunkt nicht unterschritten wird.
Die in Tabelle 9.2 genannten Komponenten in der Verbrennungsluft können die Wartungsintervalle der Motoren negativ beeinflussen und nachgeschaltete Emissionsminderungssysteme beschädigen bzw. zerstören.

Bei der Auslegung des Verbrennungsluftsystems ist deshalb darauf zu achten, dass die Luftansaugung nicht aus Bereichen erfolgt, die mit schädlichen Begleitgasen belastet sein können, z.B. aus Räumen, in denen durch die dort installierten Maschinen (z.B. Kälteanlagen) oder die dort ablaufenden Prozesse eine erhöhte Konzentration dieser Begleitgase auftreten kann.

9.2.3 Sauberkeit der Verbrennungsluft

Feiner Sand oder Staub verringern die Lebensdauer eines Motors wesentlich, wenn sie direkt vom Motor angesaugt werden.
Deshalb muss die dem Motor zugeführte Verbrennungsluft bestimmte Sauberkeitsanforderungen erfüllen. Die grundsätzlich vorgesehenen Verbrennungsluftfilter sind als Feinstaubfilter der Klasse F6 bis F7 ausgeführt. Die mittleren Wirkungsgrade dieser Filter gegenüber atmosphärischem Staub sind in DIN EN 779 festgelegt. Die bei diesen Filterklassen zu erreichenden Abscheidegrade sind in Tabelle 9.3 angegeben:
Tab. 9.3

Partikelgröße	**Abscheidegrad in %**	
>µm	**Klasse F6**	**Klasse F7**
0,5	30	65
1,0	50	85
1,5	70	95
2,0	80	98
2,5	85	>99
3,0	95	>99
4,0	>99	>99
Mittl. Wirkungsgrad (%) nach DIN EN 779	$60 \leq E_m \leq 80$	$80 \leq E_m \leq 90$

Je nach den Umgebungsverhältnissen, aus denen der Motor seine Verbrennungsluft bezieht, ist eine diesen Verhältnissen angepasste Filterungsart oder auch eine Filter-Kombination als Vorfilterung zu wählen.
Wie bereits in Kapitel 5 (Maschinenraumbelüftung) erwähnt, wird im Belüftungssystem für den Maschinenraum deshalb eine Grobstaubfilterung durch Einbau von Filtern der Filterklasse G3 gefordert. Nach dieser Grobstaubfilterung ist die Größe der Staubpartikel in der Luft in der Größenordung von 1 µm und die Staubkonzentration in der Luft liegt in der Größenordnung von 0,5 - 1 mg/m³. Das entspricht etwa der Staubkonzentration, die für die Auslegung eines Luftfilters in einem LKW im normalen europäischen Straßenverkehr angenommen wird.

9.2.4 Tropenbedingungen

In immerfeuchten beziehungsweise wechselfeuchten Tropen übersteigt für einige Monate des Jahres die gefallene Niederschlagsmenge die mögliche atmosphärische Verdunstung. Das führt zu einer hohen Luftfeuchtigkeit bei verhältnismäßig hoher mittlerer Umgebungstemperatur, 25°C im Jahresmittel. Deshalb ist der Wassergehalt (Wasserdampf) in der Luft/Verbrennungsluft sehr hoch.
Beim Einsatz von hoch aufgeladenen Verbrennungsmotoren mit Ladeluftkühlung oder Gemischkühlung kondensiert der mit der Verbrennungsluft angesaugte Wasserdampf zu flüssigem Wasser aus und führt zu Korrosion und Verschleiß an den Bauteilen wie Ladeluft/Gemischkühler, Drosselklappe, Receiverrohr, Ventilen usw. Ist die Verbrennungsluft oder das Brenngas zusätzlich noch mit säure- oder basebildenden Begleitgasen wie z.B. Schwefeldioxid (SO_2) belastet, führt dies zur Bildung von schwefliger Säure, wodurch sich die Korrosion an den genannten Bauteilen um ein Vielfaches erhöht.
Je nach Motorbauart wird für den Betrieb in dieser Umgebung eine sogenannte "Tropenausführung" angeboten, um die Korrosion an den betroffenen Bauteilen zu verringern. Ferner ist zu verhindern, dass die Ansaugluft Säurebildner enthält.

9.3 Verbrennungsluftmenge

Die Verbrennungsluftmenge bei Gasmotoren verändert sich mit der Zusammensetzung des Brenngases und mit dem gefahrenen Verbrennungsluftverhältnis. Die in Tabelle 9.4 angegebenen spez. Werte für die Verbrennungsluftmenge gelten für die häufigste Gasmotorenanwendung, Erdgasbetrieb mit Magerverbrennung.

Tab. 9.4

Motortyp	Verbrennungsluftmenge m_L [kg/kWh]
TCG 2016 C	5,2
TCG 2020(K)	5,2
TCG 2032	5,0

Die genauen Daten sind den Datenblättern zu entnehmen.

9.4 Filterungsarten für die Verbrennungsluft

9.4.1 Luftfilter – Papier/Kunststoff

In den meisten Anwendungsfällen bei verhältnismäßig sauberer Luft (Staubkonzentration < 1 mg/m³) werden zur Luftfilterung Filter eingesetzt, die entweder als Plattenfilter, Taschen- oder Rundluftfilter ausgeführt sind. Diese Filter sind bei den Motorbaureihen TCG 2016 und TCG 2020 V12 und TCG 2020 V16 mit den entsprechenden Filtergehäusen am Aggregat angebaut. Der CG170-20 wird mit einem separat aufgestellten Luftfilter ausgerüstet. Bei der Baureihe 2032 wird pro Zylinderbank ein separat aufgestelltes Filtergehäuse vorgesehen, in dem jeweils vier Filterelemente eingebaut sind. In diesem Gehäuse ist, je nach Ausführung, auch die Ansaugluftvorwärmung integriert. Die gleiche Ansaugluftvorwärmung kann optional für Motoren der Baureihe TCG 2020 bei entsprechenden Anforderungen an die Temperatur der Verbrennungsluft verwendet werden.
Wegen des stark ansteigenden Druckverlustes bei Verschmutzung wird bei diesen Filtern grundsätzlich eine Unterdrucküberwachung bzw. Unterdruckanzeige vorgesehen. Je sauberer die Verbrennungsluft, desto langsamer verschmutzt das Filter. Ein verschmutztes Filter verbraucht auch mehr Energie als ein sauberes Filter. Das führt zu einem leicht erhöhten Brennstoffverbrauch und zu einem ungünstigen Betriebspunkt des Verdichters. Im Extremfall kommt es zum Pumpen des Verdichters und das Aggregat kann nicht mehr sicher betrieben werden. Die Luftfilter sind zu erneuern, bevor es zu diesen kritischen Betriebszuständen kommt.

9.5 Schalldämpfer

Bei Luftfiltern, die außerhalb des Aggregateraumes aufgestellt werden, wird durch die Luftleitung insbesondere das Verdichtergeräusch nach außen übertragen, was sich als hochfrequentes Pfeifen bemerkbar macht. In diesen Fällen müssen in den Ansaugleitungen Schalldämpfer vorgesehen werden, die den jeweiligen Auflagen entsprechend zu dimensionieren sind.

9.6 Luftansaugleitung

Wenn die Luftfilter nicht am Motor angebaut sind, muss eine Ansaugleitung zwischen Motor und Luftfilter installiert werden. Für diese Leitung sind glatte und saubere, z.B. lackierte oder verzinkte Rohre zu verwenden. Die Leitung darf nicht am Motor abgestützt werden, d.h. es sind Gummimuffen bzw. Faltenschläuche zwischen Lufteintrittsgehäuse und Leitung zu installieren. Muffen und Schläuche dürfen nicht durch Knickung eine Engstelle bilden. Alle Verbindungsstellen in der Ansaugleitung zwischen Filter und Motoranschluss müssen dicht sein. Wenn die Ansaugleitung mit Gefälle zum Motor hin verlegt ist, ist vor dem Motor ein Wassersack mit Ablassmöglichkeit vorzusehen.
Eine gute Richtgröße für die Dimensionierung der Luftleitungen ist die Luftgeschwindigkeit im Ansaugrohr. Die Luftgeschwindigkeit sollte ≤ 20 m/s sein.

9.7 Druckverluste

Das Luftansaugsystem mit Rohrleitungen, Bögen, Filtern, Schalldämpfern etc. verursacht einen Druckverlust im Ansaugsystem. Dieser bei Nennvolumenstrom auftretende Druckverlust darf die für die einzelnen Motorbaureihen festgelegten Werte nicht überschreiten.
Diese Werte sind in Tabelle 9.5 angegeben.

Tab. 9.5

Motor-Baureihe	Max. zul. Unterdruck [mbar]
TCG 2016 C	5*
TCG 2020(K)	5*
TCG 2032	5*

* zulässiger Unterdruck vor Luftfilter

9.8 Kurbelgehäuse-Entlüftung

Die Motoren der Baureihen TCG 2016 und TCG 2020 und TCG 2032 verfügen über eine geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung, d.h. die Dämpfe aus dem Kurbelgehäuse werden über einen Ölabscheider in die Ansaugleitung zurückgeführt. Das abgeschiedene Schmieröl wird in den Kurbelraum zurückgeleitet.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 10

Abgassystem

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

10.	**Abgassystem**	**3**
10.1	Zulässiger Abgasgegendruck	3
10.2	Komponenten des Abgassystems	7
10.2.1	Katalysatoren	7
10.2.1.1	Planungshinweis für Katalysatoren	7
10.2.1.1.1	Hebeösen	7
10.2.1.1.2	Isolierung	7
10.2.1.1.3	Einbau	8
10.2.1.1.4	Inspektion	10
10.2.1.2	Montagevorschrift für Oxidations-Katalysatoren	10
10.2.1.2.1	Dichtungen	10
10.2.1.2.2	Schrauben	10
10.2.1.2.3	Montage	11
10.2.1.3	Katalysatorreinigung	12
10.2.1.4	Betriebsempfehlungen für Oxidations-Katalysatoren	12
10.2.1.5	Vorgaben zur Abgaszusammensetzung	14
10.2.1.6	Oxidationskatalysatoren für Biogas- und Klärgasmotoren	15
10.2.2	Abgasschalldämpfer	15
10.2.3	Abgaswärmetauscher	16
10.2.4	Abgaskomponenten in Biogasanlagen	18
10.2.5	Abgasklappen	18
10.2.5.1	Umgehung von Komponenten im Abgassystem	19
10.2.5.2	Mehrmotorenanlagen mit gemeinsamer Abgasleitung	19
10.2.6	Verlegung von Abgasrohrleitungen	22
10.2.7	Zusätzliche Planungshinweise für Abgaswärmetauscher und Schalldämpfer	23
10.2.7.1	Hebeösen	23
10.2.7.2	Körperschall	23
10.2.7.3	Aufstellung	23
10.2.7.4	Reinigung des Abgaswärmetauschers	23
10.2.8	Abgaskamine	24

10. Abgassystem

Über das Abgassystem werden die bei der Verbrennung im Motor entstehenden Gase der Atmosphäre zugeleitet. Zur Erfüllung der am Aufstellort geltenden Umweltauflagen, die sich sowohl auf die Abgasemission als auch auf die Schallemission beziehen, muss die Gestaltung des Abgassystems diesen Anforderungen gerecht werden.
Wenn die Verbrennung im Motor selbst nicht so gestaltet werden kann, dass die örtlichen Auflagen an die Abgasemission erfüllt werden, wird eine Abgas-Nachbehandlung erforderlich, z.B. Katalysatoren und Thermoreaktoren.
Die Abgasschallemission kann durch den Einbau von Schalldämpfern minimiert werden.
Jeder Motor ist mit einem eigenen Abgassystem auszurüsten.

10.1 Zulässiger Abgasgegendruck

Der wichtigste Auslegungsparameter für die Dimensionierung des Abgassystems neben dem Abgasmassenstrom und der Abgastemperatur ist der zulässige Abgasgegendruck.
Überschreitungen des zulässigen Abgasgegendruckes haben einen erheblichen Einfluss auf die Leistung, den Brennstoffverbrauch und die thermische Belastung des Motors. Der Abgasgegendruck wird unmittelbar hinter der Turbine bei Volllast gemessen und darf nicht überschritten werden.
Der Abgasgegendruck wird durch den Strömungswiderstand in Rohrleitungen, Krümmern, Kompensatoren, Abgaswärmetauschern, Katalysatoren, Schalldämpfern, Funkenfängern, Regenhauben und Kaminen hervorgerufen. Alle Widerstände müssen bei der Ermittlung des Gegendruckes berücksichtigt werden.
Die Strömungswiderstände in Abgasrohrleitungen und Krümmern in Abhängigkeit vom Abgasvolumenstrom können mit dem Diagramm in Abb. 10.1 ermittelt werden.
Für die im Abgassystem eingebauten Komponenten sind die Widerstände den Datenblättern für diese Komponenten zu entnehmen.
Die zulässigen Abgasgegendrücke für die einzelnen Motorbaureihen sind in Tabelle 10.1 aufgeführt.

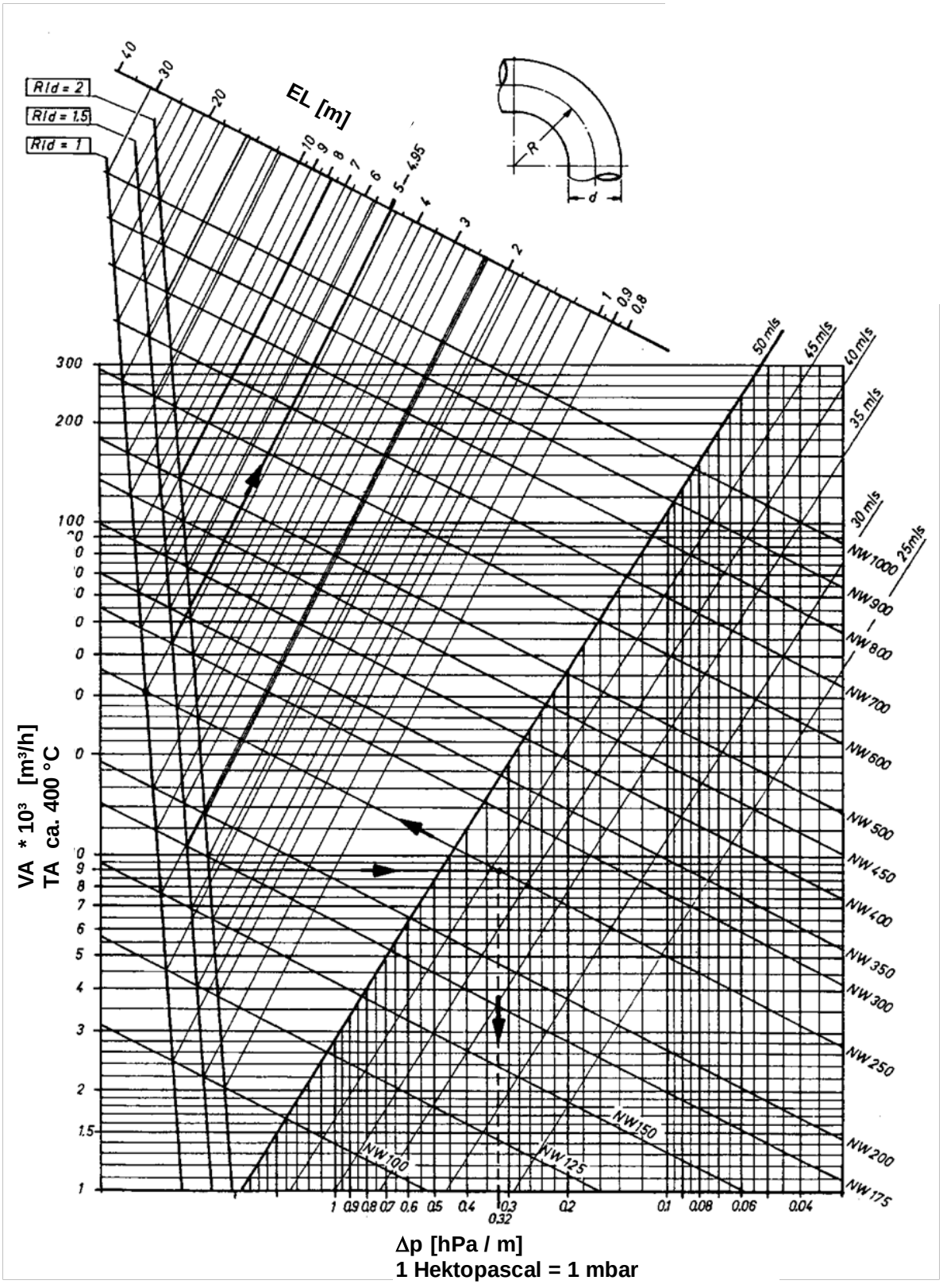
Tab. 10.1

Motor-Baureihe	zul. Abgasgegendruck Minimum / Auslegung [mbar]
CG132	30 / 50
CG170(K)	30 / 50
CG260	30 / 50

Messung des Abgasgegendruckes hinter Turbine

Für die Auslegung des Abgassystems sind die Angaben aus den Datenblättern für die einzelnen Motorbaureihen zu berücksichtigen.
Eine gute Richtgröße für die Auslegung des Abgassystems ist auch die Geschwindigkeit des Abgases im Abgasrohr. Diese sollte im Bereich von 20-35 m/s liegen.
Bei der Materialauswahl ist die Temperaturerhöhung im Teillastbereich zu beachten.

Abb. 10.1 Strömungswiderstände für Abgas-Rohrleitungen



Legende zu Abb 10.1

VA	Abgasvolumenstrom
TA	Abgas-Bezugstemperatur
Δp	Druckverlust pro Meter gerade Rohrleitung
EL	Ersatzlänge für Rohrbogen 90°
NW	Nennweite des Abgasrohres in Millimeter
R	Radius des Bogens
d	Rohrdurchmesser in Millimeter

Beispiel zu Abb 10.1

Gegeben:	VA = 9000 m³/h	
	Gerade Rohrleitung:	l = 10 m
	Bögen:	3 Bögen 90° mit R/d=1
Gesucht:	Δp der Rohrleitung	
Lösung:	NW 250	
	ca. 44 m/s	
	Δp = 0,32 hPa / m gerades Rohr	
Ersatzlänge für einen Bogen:	4,95 m	
Gesamtrohrlänge:	Lges = 10+(3*4,95) = 24,85 m	
	Δpges = 24,85 * 0,32 = 8 hPa (mbar)	

10.2 Komponenten des Abgassystems

10.2.1 Katalysatoren

Alle Gasmotoren arbeiten nach dem Magerverbrennungskonzept, bei dem die Werte für NOx durch den hohen Luftüberschuss bereits bei der Verbrennung unter den Grenzwerten der TA-Luft[1] (NOx ≤ 500 mg/m^3) gehalten werden. Je nach Motortyp und Emissionsanforderung ist für die Komponente CO der Einsatz eines Oxidationskatalysators erforderlich. Das Verfahren ist besonders wirtschaftlich und auch in allen Betriebspunkten sauber und langzeitlich sicher. Der Oxidationskatalysator ist von allen Katalysatorsystemen am widerstandsfähigsten gegenüber schädlichen Bestandteilen im Brenngas. Der Katalysator muss als erstes Bauteil des Abgassystems vorgesehen werden.

10.2.1.1 Planungshinweis für Katalysatoren

10.2.1.1.1 Hebeösen

Da Katalysatorgehäuse gerade bei größeren Motoren weit über 100 kg wiegen können, ist schon bei der Planung auf die spätere Montage Rücksicht zu nehmen. Bei Gehäusen mit Konen auf beiden Seiten ist Aufhängen mittels Rundschlingen üblich. Bei sehr engen Platzverhältnissen oder bei anderen Gehäuseformen ist es unter Umständen sinnvoll, Hebeösen anzubringen. Gerade bei großen Katalysatorscheiben, die in Vorköpfen von Wärmetauschern oder Schalldämpfern eingeschoben werden, ist dies wichtig.

10.2.1.1.2 Isolierung

Die Isolierung des Katalysators muss so gestaltet werden, dass diese zur Reinigung oder zum Austausch des Katalysators leicht entfernt werden kann. Das ist auch für das Nachziehen der Schrauben der Flanschverbindungen vorteilhaft.

[1] TA-Luft = Technische Anweisung Luft

10.2.1.1.3 Einbau

Wenn nicht besonders darauf hingewiesen wurde, können Katalysatoren in jeder Lage d.h. waagerecht, senkrecht oder schräg eingebaut werden. Lediglich bei Gehäusen mit unterschiedlich langen Konen ist auf die Strömungsrichtung zu achten. Üblicherweise ist der Eintrittskonus länger und schlanker als der Austrittskonus.
Beim Katalysatoreinbau ist es wichtig, dass das Abgas gleichmäßig durch den Katalysator strömt. Ist dies nicht der Fall, kann keine optimale Schadstoffreduzierung erfolgen und der Katalysator wird an bestimmten Stellen überproportional beansprucht und beschädigt.
Um dies zu vermeiden, gibt es zwei verschiedene Einbaumöglichkeiten:

Beim Einbau in die Abgasleitung ist der Durchmesser der Abgasleitung durch konische Übergangsstücke an den Durchmesser des Abgaskatalysators anzupassen. Für eine möglichst gleichmäßige Anströmung des Katalysators muss der Einströmkonus zwischen 10 ° bis 20° (s. Abb. 10.2) betragen und die Abgasleitung ist entsprechend anzuordnen (Beruhigungsstrecke). Die Nennweite des Abgasrohres vor dem Einströmkonus muss so gewählt werden, dass die Abgasgeschwindigkeit <40 m/s beträgt.

Beim Einbau in den Schalldämpfer oder Wärmetauscher wird ein Vorkopf mit radialem Abgaseintritt gemäß Abbildung 10.3 benötigt, der die gleichmäßige Anströmung des Katalysators garantiert. Der Abstand zwischen Mitte Eintrittsrohr und Flanschverbindung vom Katalysator soll mindestens so groß wie der Katalysatordurchmesser sein. Die Nennweite des Eintrittsstutzens vor dem Katalysator muss so gewählt werden, dass die Abgasgeschwindigkeit <40 m/s beträgt.

Sowohl der beschriebene Einbau in den Vorkopf des Schalldämpfers als auch die Ausführung mit Konen dienen dazu, eine möglichst homogene Anströmung des Katalysators zu erreichen. Nur bei einer homogenen Anströmung wird die volle Wirkung des Katalysators erreicht.

Die Katalysatoren und deren Gehäuse müssen im Betrieb möglichst frei von Spannungen bleiben, die sich durch Ausdehnung der Abgasleitungen bei Betriebstemperatur ergeben. An geeigneten Postionen müssen Kompensatoren im Abgassystem werden.

Abb. 10.2

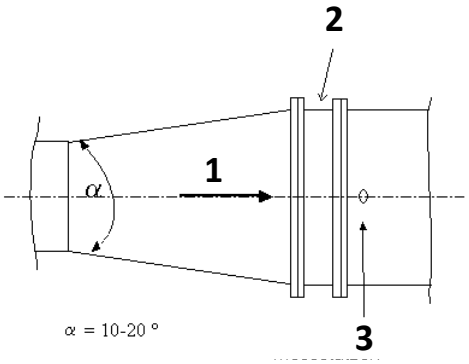
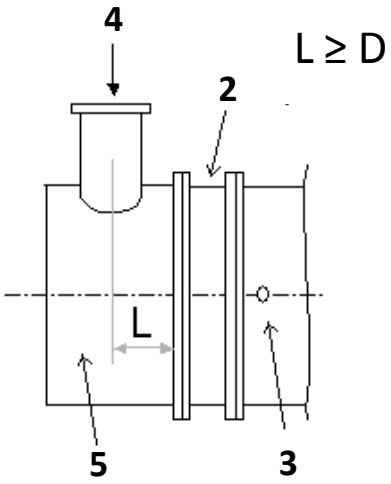


Abb. 10.3



1	Abgasfließrichtung
2	Katalysator
3	Temperatur-Messstutzen
4	Abgaseintritt
5	Vorkopf
D	Katalysatordurchmesser
L	Abstand Katalysator-Eintritt bis Mitte Abgaseintritt

10.2.1.1.4 Inspektion

Der Katalysator sollte in regelmäßigen Abständen auf mechanische Beschädigung bzw. auf Verunreinigungen untersucht werden. Bei einem partikelfreien Erdgasbetrieb und einem niedrigen Ölverbrauch reicht eine jährliche Inspektion aus. Bei anderen Gasarten oder bei erhöhtem Ölverbrauch, ist unter Umständen eine Inspektion nach 2-6 Monaten erforderlich.
Diese regelmäßigen Inspektionen sollen verhindern, dass Stillstandszeiten der Anlage eintreten.
Bereits bei der Planung muss man berücksichtigen, dass ein guter Zugang zum Katalysator möglich ist und die Inspektionen zügig durchgeführt werden können.

10.2.1.2 Montagevorschrift für Oxidations-Katalysatoren

Die Katalysatoren werden komplett mit Lochflanschgehäuse zum Einbau in den Schalldämpfer(Vorkopf) oder als Konen-Katalysatoren mit Anschlussflanschen zum Einbau in der Abgasleitung geliefert.

Für die Katalysatorflanschverbindung ist die Montagevorschrift 1240 2390 UE 0499-41 zu beachten:

10.2.1.2.1 Dichtungen

Die Dichtungen sind für Mediumtemperaturen bis max. 650 °C ausgelegt. Die Dichtungen bestehen aus Segmenten, ein Dichtungssatz besteht aus zwei Lagen. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Segmentstöße der einzelnen Lagen versetzt zueinander eingebaut werden. Die speziellen Eigenschaften der Dichtung im Hochtemperaturbereich erfordern eine genaue Einhaltung der Montagevorschrift.

10.2.1.2.2 Schrauben

Die Schrauben bestehen aus hochwarmfestem Material, das speziell für den Hochtemperaturbereich geeignet ist.

10.2.1.2.3 Montage

- Die Anlage muss abgekühlt sein.
- Katalysatordurchflussrichtung; Stützkreuz für die Matrix auf der Abströmseite.
- Reinigung und Kontrolle der Dichtflächen.
- Katalysator und Dichtungen montieren, die Schrauben mit etwas Hochtemperaturpaste einsetzen und von Hand leicht anziehen.
- Korrekten Sitz der Dichtungen kontrollieren.
- Die Schrauben in Gruppen (2-6 Stück) wechselseitig mit 40 Nm anziehen.
- Danach mit dem Nennmoment von 50 Nm alle Schrauben der Reihe nach, rundherum nachziehen.
- Die Anlage kann in Betrieb genommen werden.
- Bei Abgastemperaturen über 400 °C muss die Flanschverbindung, auf Grund der Setzeigenschaften der Dichtung, nach ca. 20 Betriebsstunden mit dem Nennmoment nachgezogen werden. Das Nachziehen erfolgt im abgekühlten Zustand.
- Um während des Betriebes Schäden am Gehäuse zu vermeiden, ist es wichtig, dass auf das Gehäuse keine Druck- oder Zugspannungen kommen. Aus diesem Grunde sind Katalysatorgehäuse immer spannungsfrei einzubauen.
- Da der Katalysator aus Temperaturgründen möglichst nahe am Motor platziert werden muss, gibt es meist keine langen Rohrleitungen oder andere Bauteile vor dem Katalysator. Aus diesem Grunde ist ein einfacher Kompensator, der selbst bei einem vorhandenen Rohrbogen axiale und radiale Kräfte aufnehmen kann, ausreichend. Sollte auch nach dem Katalysatorgehäuse eine längere Rohrleitung vorhanden sein, ist hier ein weiterer Kompensator vorzusehen.
- Ist das Katalysatorgehäuse in die Rohrleitung eingebaut, wird es mittels einer oder mehrerer Stützen auf dem Fundament oder auf einem Stahlbau abgestützt. Auch Abhängungen sind möglich. Ist das Katalysatorgehäuse mittels einer Flanschverbindung im Vorkopf eines Wärmetauschers oder eines Schalldämpfers eingebaut, kann es je nach Aufbau des Abgassystems erforderlich sein, denVorkopf separat mittels eines Schiebesitzes abzustützen. Der Festpunkt wird in diesem Fall am Wärmetauscher bzw. am Schalldämpfer sein. Somit ist sichergestellt, dass das Gehäuse spannungsfrei eingebaut ist, aber auch einfach ein- und ausgebaut werden kann.

10.2.1.3 Katalysatorreinigung

Wird die Flanschverbindung zur Katalysatorreinigung geöffnet, müssen anschließend neue Dichtungen und Schrauben verwendet werden.
Die Dichtungsreste müssen vorher vollständig entfernt werden.
Die Montage muss wie oben beschrieben durchgeführt werden.

10.2.1.4 Betriebsempfehlungen für Oxidations-Katalysatoren

Die Entfernung von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid durch einen Oxidationskatalysator ist eine einfache Methode der Abgasreinigung und dieser Katalysator verfügt über einen sehr weiten Arbeitsbereich.
Für den sicheren Betrieb der Katalysatoren sind folgende Punkte zu beachten:

- Zündaussetzer müssen vermieden werden, da es durch unverbrannten Brennstoff im Katalysator zu einer unerwünschten Nachverbrennung mit unzulässig hohen Abgastemperaturen kommen kann. Auch Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur des Trägermaterials (ab 700°C) führen bereits zum vorzeitigen Altern und mit zunehmender Temperatur auch zu einer Schädigung des Katalysators.
- Explosionsartige Zündungen im Abgastrakt können, sofern bauseits keine Explosionsklappen vorgesehen sind, zu einer mechanischen Zerstörung des Katalysators führen.
- Zur Vermeidung der thermischen Alterung sollte die Abgaseintrittstemperatur in den Katalysator zwischen 400 - 560°C liegen. Wegen der exothermen Reaktion im Katalysator kommt es zu einer Temperaturerhöhung im Abgas. Diese Temperatur darf 650°C nicht überschreiten. Deshalb muss nach dem Katalysator eine Temperaturüberwachung vorgesehen werden, die bei Überschreitung des Grenzwertes die Brennstoffzufuhr abstellt.
- Es müssen aschearme, niedriglegierte Motorenöle verwendet werden, um die Ablagerungen am Katalysator zu minimieren. Verstopfungen der Kanäle durch Ölasche können die Katalysatorfunktion stark beeinträchtigen.
  Die Einwirkung von Feuchtigkeit oder Lösemitteln im Katalysator ist zu vermeiden; Ausnahme ist das Durchfahren des Taupunktes beim An- und Abstellen der Anlage.
- Der Katalysator ist im feuchten Zustand vor Frost zu schützen. Einzige Ausnahme ist eine Restfeuchtigkeit, die aus Kondensat stammt, das sich bei einem Kaltstart bei niedriger Außentemperatur gebildet hat. Beispielsweise ist eine Montage oben auf einem Container zulässig, wenn sichergestellt ist, dass niemals Feuchtigkeit in das Abgasrohr von außen eindringen kann.

- Bei Biogasanlagen ist der Einsatz von Oxidationskatalysatoren nur möglich, wenn das Brenngas zuvor durchbruchssicher feinentschwefelt worden ist (siehe Kapitel 9 Brenngas). Die Oxidationskatalysatoren altern selber durch die Schwefelverbindungen. Der größere Schaden entsteht aber im Abgaswärmetauscher. Durch die Oxidation von SO_2 (im Motorenabgas aus Schwefelverbindungen entstehend) zu SO3 verschiebt sich der Taupunkt so, dass bei konventioneller Auslegung des Abgaswärmetauschers hier der Taupunkt unterschritten wird und entsprechend Schwefelsäure kondensiert. Dies führt zu schneller massiver Verschmutzung der Abgaswärmetauschers und zu einem anschließenden Säureangriff bis zur Zerstörung des Abgaswärmetauschers.
- Bei Deponie- oder Klärgasbetrieb ist der Einsatz von Oxidations-Katalysatoren auch bei Einbau einer Gasreinigung vor dem Motor nur bedingt möglich
- Folgende Stoffe führen zur Katalysatorvergiftung und sind im Brenngas zu vermeiden:
  Silicon, Silizium, Natrium, Kalzium, Blei, Wismut, Quecksilber, Mangan, Kalium, Eisen, Arsen, Antimon, Kadmium; bedingt auch Chlor-, Schwefel- und Phosphor-; sowohl organische als auch anorganische Verbindungen.
- Der Katalysator wird vor dem Schalldämpfer eingebaut, um Verstopfung durch sich lösende Absorberwolle zu vermeiden. Verstopfung des Katalysators führt zu einer Erhöhung des Gegendruckes und zu einer Verminderung der Schadstoffreduzierung. Die Wolle lässt sich aus den Kanälen des Katalysators sehr schlecht entfernen. Eine Einbaulage nach einem reinen Reflexionsschalldämpfer ist zulässig, wenn bis dahin im Abgasweg ausschließlich Edelstahlteile verwendet worden sind.
- Zum Schutz vor eventueller Überhitzung sollten Katalysatoren erst dann in das Abgassystem eingebaut werden, wenn alle Einstellarbeiten am Motor durchgeführt worden sind und der Motor ohne Störungen läuft. Dies gilt sowohl für die Erstinbetriebnahme als auch für spätere Wartungsarbeiten.
- Schwefel in Form von SO_2 hat bei Temperaturen über 420 °C so gut wie keinen Einfluss auf den Katalysator. Jedoch ist zu beachten, dass ein Teil SO_2 im Katalysator zu SO_3 aufoxidiert. Wenn dann der Taupunkt im Abgassystem unterschritten wird, entsteht bei SO_2 schweflige Säure und bei SO_3. Schwefelsäure. Der Taupunkt liegt bei ca. 140 °C.
- Auch wenn sich feste Substanzen, die sich im Abgasstrom befinden und auf dem Katalysator ablagern, diesen nicht direkt schädigen, wird der Schadstoffumsatz mit der Zeit schlechter. Die aktive Oberfläche wird zum Teil bedeckt. Nehmen die Ablagerungen weiter zu, kommt es zu Verstopfungen der einzelnen Kanäle. Das Abgas dann durch die noch freien Kanäle strömen. Somit steigt die Raumgeschwindigkeit an und der Umsatz wird schlechter. Durch den Anstieg des Gegendruckes im Abgassystem kommt es zunächst zu einem Leistungsverlust und bei weiterem Anstieg zu einem Abschalten des Motors. Das kann mit einer einfachen Differenzdruckmessung überwacht werden.

10.2.1.5 Vorgaben zur Abgaszusammensetzung[2]

Die Standzeit des Katalysators ist stark abhängig von der Konzentration der Katalysatorgifte, deshalb sollte das Abgas im Wesentlichen frei von den bekannten Katalysator-schädigenden Verbindungen, wie Silizium, Silicon, Schwefel bzw. Phosphor, Arsen und Schwermetallen, sein. Die Konzentration der Katalysatorgifte sollte folgende Werte nicht überschreiten:

Katalysatorgift	**Gewährleistungszeitraum 8000 Betriebsstunden bzw. 1 Jahr**	**Gewährleistungszeitraum 16000 Betriebsstunden bzw. 2 Jahre**
Silikon	0 µg / Nm^3	0 µg / Nm^3
Silizium	0 µg / Nm^3	0 µg / Nm^3
Arsen	< 1 µg / Nm^3	< 1 µg / Nm^3
Quecksilber	< 1 µg / Nm^3	< 1 µg / Nm^3
Blei	< 2 µg / Nm^3	< 1 µg / Nm^3
Cadmium	< 10 µg / Nm^3	< 10 µg / Nm^3
Zink	< 100 µg / Nm^3	< 50 µg / Nm^3
Wismut	< 1 µg / Nm^3	< 1 µg / Nm^3
Antimon	< 1 µg / Nm^3	< 1 µg / Nm^3
Schwefelwasserstoff	< 10 mg / Nm^3	< 5 mg / Nm^3
Schwefel	< 10 mg / Nm^3	< 5 mg / Nm^3
Ammoniak	< 100 mg / Nm^3	< 100 mg / Nm^3
Phosphorverbindungen und Halogene	< 5 mg / Nm^3	< 1 mg / Nm^3
Chlor	< 10 µg / Nm^3	< 10 µg / Nm^3
Natrium	< 10 µg / Nm^3	< 10 µg / Nm^3
Kalzium	< 10 µg / Nm^3	< 10 µg / Nm^3
Mangan	< 10 µg / Nm^3	< 10 µg / Nm^3
Kalium	< 10 µg / Nm^3	< 10 µg / Nm^3
Eisen	< 10 mg / Nm^3	< 5 mg / Nm^3

[2] Quelle: Air Sonic

10.2.1.6 Oxidationskatalysatoren für Biogas- und Klärgasmotoren[3]

Die meisten Hersteller geben auf ihre Katalysatoren keine Gewährleistung, wenn der Motor mit Deponie- und Klärgas betrieben wird. Daher sollten die Gewährleistungsvoraussetzungen während der Planung abgeklärt werden, falls ein Katalysator für Bio- und Klärgas eingebaut werden soll.
Das Problem bei diesen Anlagen ist, dass kein Betreiber voraussagen kann, welche Schadstoffe in den nächsten Wochen, Monaten oder Jahren im Abgas sein werden.
Selbst wenn ausführliche Analysen durchgeführt werden und diese Analysen wenig Schadstoffe aufweisen, ist dies nur eine Momentaufnahme. Meist wird das Abgas nicht auf alle möglichen Schadstoffe hin untersucht zum anderen kann das Abgas schon einige Tage später eine ganz andere Zusammensetzung haben.
Dies wird auch dadurch bestätigt, dass bei ähnlichen Klärgasanlagen sehr unterschiedliche Betriebszeiten bei gleichen Katalysatoren erreicht wurden.
Bei Biogas ist die Problematik etwas anders. Hier kann im Einzelfall geprüft werden, ob eine Gewährleistung gegeben werden kann. Notwendig ist allerdings eine genaue Analyse des Abgases und eine genaue Beschreibung der Anlage.
Ohne ausreichende Gasreinigungsanlage entfällt bei Klärgas, Deponiegas und Biogas die Gewährleistung für die Schadstoffumsetzung des Katalysators.

10.2.2 Abgasschalldämpfer

Abgasschalldämpfer haben die Aufgabe, das bei dem Betrieb des Motors entstehende Abgasgeräusch auf ein an die jeweiligen Umgebungsverhältnisse angepasstes Maß herunterzudämpfen. Die eingesetzten Schalldämpfer arbeiten als Reflexions-, Absorptions- oder Kombinationsdämpfer. Reflexionsdämpfer erreichen ihre höchste Dämpfung im tieferen Frequenzbereich von 125-500 Hz, während die Absorptionsdämpfer ihr Dämpfungsmaximum im Bereich von 250-1000 Hz haben. Beim Kombinationsdämpfer ist der erste Teil als Reflexionsdämpfer und der zweite Teil als Absorptionsdämpfer ausgebildet. Der Kombinationsdämpfer vereinigt die Eigenschaften der beiden Dämpfer und erreicht so über einen weiten Frequenzbereich hohe Dämpfungswerte.
In den Fällen, in denen die geforderte Dämpfung des Abgasgeräusches nicht mit einem Kombinationsdämpfer erreicht werden kann, müssen weitere Absorptionsdämpfer hinter dem Kombinationsdämpfer nachgeschaltet werden. Zur Körperschallisolierung ist zwischen den Schalldämpfern ein Kompensator einzubauen.
Siehe auch Kapitel 4.3 Geräuschfragen.
Die Abgasschalldämpfer erfahren eine Wärmeausdehnung bei Betriebstemperatur. Dementsprechend sind Fest- und Loslager bei der Planung vorzusehen.

[3] Quelle: Fa. Air Sonic

10.2.3 Abgaswärmetauscher

Zur Wärmenutzung aus dem Abgas werden Abgaswärmetauscher eingesetzt. Die Abgaswärmetauscher werden nach europäischer Druckgeräterichtlinie (PED 97/23/EC) gefertigt. Prüfgrundlage sind nationale Vorschriften, z.B. TRD[4] und AD-Merkblätter[5] des Herstellerlandes.

In der Regel werden Abgaswärmetauscher im BHKW in Edelstahl (1.4571) ausgeführt. Die Abgasaustrittstemperatur bei erdgasbetriebenen Motoren liegt normalerweise bei 120°C. Zur Verhinderung von Korrosionsschäden muss die Taupunktunterschreitung im Abgas sicher vermieden werden.

Generell ist bei allen Anlagen, bei denen Abgaswärmetauscher über dem Motor angeordnet sind, ein ausreichend großer kontinuierlicher Kondensatablass / Abscheider vorzusehen. Dadurch soll verhindert werden, dass bei einem Wasserdurchbruch im Abgaswärmetauscher über die Abgasleitung Wasser in den Motor gelangen kann.

Bei Anlagen, die mit Klärgas oder Deponiegas betrieben werden, ist bei der Werkstoffauswahl der erhöhte Gehalt von Schwefel, Chloriden, Salzsäure und Flusssäure im Abgas zu beachten. Diese Komponenten wirken stark korrosiv und können auch zu Schäden an Edelstahl-Abgaswärmetauschern führen.

Bei der Gefahr von erhöhter Konzentration von Chlor und anderen halogenierten Stoffen im Brenngas sollten wegen der Gefahr von örtlicher Korrosion (Lochfraß, Spannungskorrosion) statt dünnwandiger Rohre aus Edelstahl dickwandige Materialien aus niedriglegiertem Kesselstahl eingesetzt werden. Dieser Stahl ist unempfindlicher gegen Lochfraß und Spannungskorrosion. Um flächige Korrosion zu vermeiden, muss generell die Kondensation von obengenannten Säuren und Wasser aus dem Abgas vermieden werden. Das Abgas sollte daher nicht unter 180°C abgekühlt werden.

Bei Anlagen mit Schwefel im Brenngas und mit einem dem Abgaswärmetauscher vorgeschalteten Oxidationskatalysator muss eine Feinentschwefelung des Brenngases vorgesehen werden. Im Oxidationskatalysator wird im Abgas enthaltenes Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid oxidiert. Bei der Abkühlung des Abgases im nachgeschalteten Abgaswärmetauscher reagiert Schwefeltrioxid mit Wasser und es kommt zur Bildung von konzentrierter Schwefelsäure. Konzentrierte Schwefelsäure wirkt stark korrodierend und kann zu einer schnellen Zerstörung des Abgaswärmetauschers führen. Weiterhin kann es zu Betriebsstörungen durch einen erhöhten Abgasgegendruck kommen, der von schwefelbedingten Ablagerungen hervorgerufen wird. Ein wirksamer Schutz kann bei diesem Anlagenaufbau nur mit einer Feinentschwefelung des Brenngases gewährleistet werden.

Die Wasserqualitäten bezüglich der Heizwasseranforderungen sind einzuhalten (technisches Rundschreiben für Kühlflüssigkeit).

In großen Heizkreisen besteht die Gefahr, dass die Mindestanforderungen an die Wasserqualität nicht immer eingehalten werden. In diesem Fall wird der Aufbau eines kleinen geschlossenen Koppelkreislaufs zwischen Abgaswärmetauscher und Heizkreis dringend empfohlen. In dem technischen Rundschreiben für Kühlwasser wird für die Kühlflüssigkeit im Heizkreis ein Chloridgehalt kleiner 20 mg/l gefordert. Bei erhöhtem Chloridionengehalt und erhöhten Vorlauftemperaturen im Heizkreis neigen die üblicherweise in den

[4] TRD = Technische Regeln für Dampfkessel = Technical Directions for Steam Boilers
[5] AD = Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter = Pressure Vessels Working Party

Abgaswärmetauschern verwendeten Rohre aus Edelstahl zu Spannungsrisskorrosion, die zur Zerstörung des Abgaswärmetauschers führen kann. Deshalb ist bei Direkteinbindung des Abgaswärmetauschers in den Heizkreis und Wassertemperaturen > 110°C ein Abgaswärmetauscher mit wasserführenden Bauteilen (Rohre, Rohrplatte und Mantel) in Normalstahl vorzusehen, wenn keine Einschränkungen auf der Abgasseite dagegen sprechen.
(Siehe auch Kapitel 6.7 Der Heizkreis & 6.8 Kühlmedium im Heizkreis)
Die Abgaswärmetauscher erfahren eine Wärmeausdehnung bei Betriebstemperatur. Dementsprechend sind Fest- und Loslager bei der Planung vorzusehen.

10.2.4 Abgaskomponenten in Biogasanlagen

Bei Biogasanlagen müssen folgende Punkte bei der Auslegung des Abgassystems berücksichtigt werden:

- Mit einem zugelassenen Schwefelgehalt (gesamt) von maximal 2,2 g/m³n oder H_2S-Gehalt von maximal 0,15 % Vol im Biogas dürfen die Abgase nur auf maximal 180 °C heruntergekühlt werden. Die Biogaswerte müssen dauerhaft eingehalten werden. Es darf dann kein Oxidationskatalysator eingesetzt werden.
- Bei einer gewünschten Abgasabkühlung auf 120 °C muss im Biogas zusätzlich zu den Mindesteigenschaften von Brenngasen für Gasmotoren der Schwefelgehalt auf <0,1 g/m^{3}n oder der H_2S-Gehalt auf <70 ppm begrenzt werden.
- Bei der Verwendung von Oxidationskatalysatoren ist eine Feinentschwefelung des Brenngases vorzunehmen. Diese muss das H_2S jederzeit vollständig entfernen (Nachweisgrenze der Feldmesstechnik, höchstens jedoch 5 ppm H_2S). Technisch ist dies mit einem Aktivkohleadsorber mit dotierter/imprägnierter Aktivkohle umsetzbar.
- Bei Biogasanlagen sind die Abgasschalldämpfer vorzugsweise vor dem Abgaswärmetauscher einzubauen, da bei höheren Abgastemperaturen die Gefahr von Säurekondensation geringer ist..
- Des Weiteren muss eine gesicherte Kondensatabführung vorgesehen werden. Der Kondensatablauf ist regelmäßig im Betrieb zu überprüfen und muss gegen Einfrieren im Winter gesichert werden.
- Der Abgaswärmetauscher ist rauchgasseitig regelmäßig zu reinigen
- Abgasdurchströmte Bauteile müssen wegen der Kondensatgefahr isoliert werden, unbedingt auch im Freien.

10.2.5 Abgasklappen

In den meisten Anwendungsfällen sind die Abgassysteme für jeden Motor getrennt aufgebaut. In diesen Systemen werden Abgasklappen als Stellklappen zur Umgehung von Abgaskomponenten eingesetzt. Bei Abgassystemen, bei denen mehrere Motoren an eine gemeinsame Abgasleitung angeschlossen werden müssen, dienen Abgasklappen zur Trennung des einzelnen Motors von der gemeinsamen Abgasleitung. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn das Abgas mehrerer Motoren zum Betrieb einer Absorptionskältemaschine zusammengeführt wird.
Abgasklappen sind im geschlossenen Zustand nicht vollkommen dicht, es gibt immer eine Leckströmung.
Anforderungen an die Dichtigkeit von Abgasklappen sind anwendungsbezogen zu beachten (z.B. TRD 604 Bl. 2).

10.2.5.1 Umgehung von Komponenten im Abgassystem

Zur Umgehung von Abgaskomponenten wie z.B. Abgaswärmetauscher und/oder Dampferzeuger werden Abgasklappen eingesetzt. Der Antrieb erfolgt über einen elektrischen oder pneumatischen Stellantrieb. Sie dienen nur als Stellklappen und haben keine Regelfunktion. Es werden vorzugsweise Klappenkombinationen eingesetzt, bei denen zwei Klappen mit einem Stellmotor über ein Koppelgestänge gegenläufig auf und zu gefahren werden.

10.2.5.2 Mehrmotorenanlagen mit gemeinsamer Abgasleitung

Bei Mehrmotorenanlagen mit gemeinsamer Abgassammelleitung muss die unkontrollierte Rückströmung von Abgasen in einen nicht in Betrieb befindlichen Motor unbedingt vermieden werden. Rückströmendes Abgas führt zu Korrosionsschäden an diesem Motor. Verschiedene Möglichkeiten zur Vermeidung von Abgasrückströmung mit entsprechender Anordnung von Abgasklappen sind im Folgenden aufgeführt.

Abgasklappensystem mit separatem Abgasrohr

Bei dieser Ausführung des Abgassystems befindet sich in der Leitung hinter dem Motor eine Abgasklappe. Danach wird der Abgasstrom über eine Bypassklappenkombination entweder über ein separates Abgasrohr ins Freie geführt oder in die gemeinsame Abgassammelleitung (siehe Abb. 10.4). Bei Stillstand des Motors ist die Abgasklappe nach dem Motor (Klappe 1) und die Klappe zur Abgassammelleitung (Klappe 2) geschlossen, die Klappe in der Leitung zum Austritt ins Freie (Klappe 3) ist geöffnet. In der Abgassammelleitung herrscht bei Betrieb der anderen Motoren Überdruck und über die Abgasklappe 2 kommt es zu einer Leckgasströmung in den Zwischenraum. Wegen der verhältnismäßig kleinen Leckgasmenge und dem relativ großen freien Querschnitt der Abgasleitung ins Freie (Klappe 3 offen) strömen die Leckgase ins Freie, der Motor ist durch die geschlossene Klappe 1 geschützt.

Vor dem Start eines Motors wird die Abgasklappe 1 hinter Motor geöffnet, das Abgas strömt zunächst über die offene Abgasklappe 3 ins Freie. Wenn der Motor hochgefahren ist, wird durch Umschalten der Abgasbypassklappenkombination der Abgasweg ins Freie geschlossen und gleichzeitig der Weg ins gemeinsame Abgassammelrohr geöffnet.

Dieser Aufbau bietet folgende Vorteile:

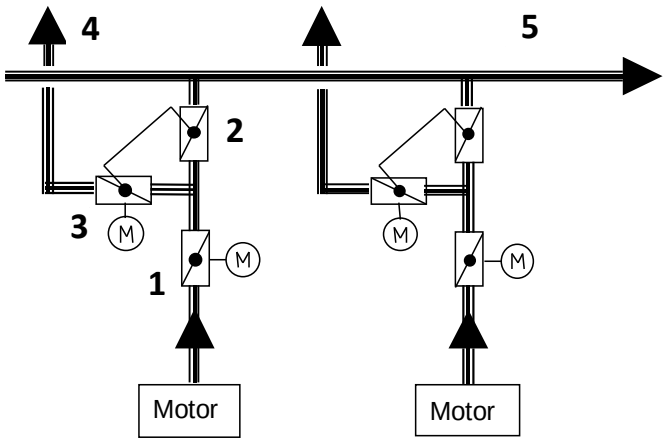
Jeder Motor kann individuell betrieben werden, ist nicht von der Abgasableitung über gemeinsames System abhängig.

Jeder Motor kann ohne Abgasgegendruck gestartet werden.

Bei stromgeführter Betriebsweise kann die Abgaswärmemenge durch Umschaltung auf Bypass ins Freie dem augenblicklichen Bedarf angepasst werden.

Dieser Aufbau wird beim Betrieb von mehreren Motoren auf ein gemeinsames Abgassystem dringend empfohlen.

Abb. 10.4 Gemeinsames Abgassystem mit Bypass ins Freie



1	Abgasklappe 1
2	Abgasklappe 2
3	Abgasklappe 3
4	Bypass ins Freie
5	Abgassammelleitung

Abgasklappensystem mit Sperrlufteinblasung

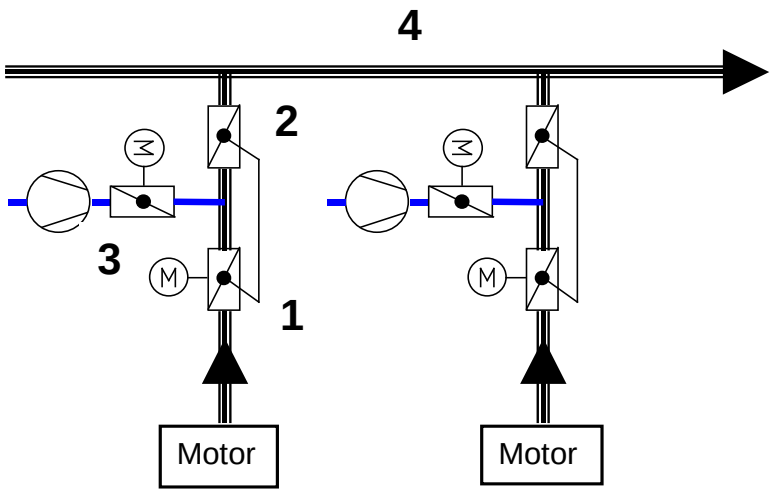
Bei diesem System sind in der Abgasleitung zum gemeinsamen Abgassammelrohr zwei Absperrklappen eingebaut, die über einen Stellantrieb gemeinsam auf- oder zugefahren werden können. In den Raum zwischen den beiden Klappen wird die Sperrluftleitung angeschlossen. Die Versorgung mit Sperrluft erfolgt über ein Gebläse mit nachgeschalteter Absperrklappe (siehe auch Abbildung 10.5).

Bei Stillstand des Motors sind beide Abgasklappen (Klappe 1 und 2) geschlossen und der Raum zwischen den Klappen wird mit Sperrluft beaufschlagt. Der Sperrluftdruck muss größer als der maximale Abgasgegendruck in der Abgassammelleitung sein und die Sperrluftmenge muss über der Leckrate der Abgasklappen liegen. Dadurch kann kein Leckgas von der Abgassammelleitung in den stehenden Motor gelangen.

Vor dem Start eines Motors werden die beiden Abgasklappen geöffnet, die Absperrklappe 3 nach Gebläse geschlossen und das Sperrluftgebläse abgeschaltet. Der Motor muss gegen den auf der Abgassammelleitung anstehenden Abgasgegendruck starten.

Vorteil: Es muss keine separate Leitung ins Freie geführt werden.

Abb. 10.5 Gemeinsames Abgassystem mit Sperrlufteinblasung



1	Abgasklappe 1
2	Abgasklappe 2
3	Luftklappe
4	Abgassammelleitung

Abgasklappensystem mit Zwischenentlüftung

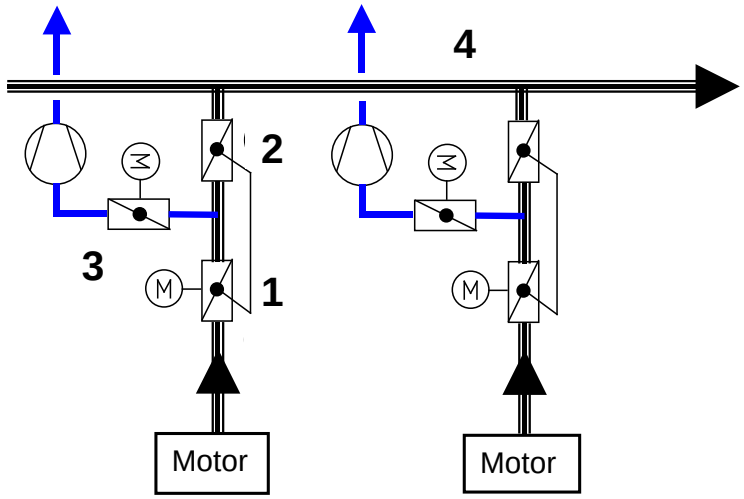
Auch bei diesem System sind in der Abgasleitung zum gemeinsamen Abgassammelrohr zwei Absperrklappen eingebaut, die über einen Stellantrieb gemeinsam auf- oder zugefahren werden können. In den Raum zwischen den beiden Klappen wird die Entlüftungsleitung angeschlossen. Das Leckgas im Zwischenraum zwischen den Abgasklappen wird über ein Sauggebläse mit vorgeschalteter Absperrklappe abgesaugt und ins Freie befördert (siehe Abb. 10.6).

Bei Stillstand des Motors sind beide Abgasklappen (Klappe 1 und 2) geschlossen und in dem Raum zwischen den Klappen wird durch das Sauggebläse ständig ein leichter Unterdruck gehalten. Die über die Klappen strömenden Leckgase werden über das Gebläse ins Freie geführt. Es gelangt kein Leckgas in den stehenden Motor.

Vor dem Start eines Motors werden die beiden Abgasklappen geöffnet, die Absperrklappe 3 vor dem Gebläse geschlossen und das Sauggebläse abgeschaltet. Der Motor muss gegen den auf der Abgassammelleitung anstehenden Abgasgegendruck starten.

Nachteil: Es muss eine separate Leitung ins Freie geführt werden, der Querschnitt ist aber klein gegenüber einer Abgasleitung wie in Abb. 10.4.

Abb. 10.6 Gemeinsames Abgassystem mit Zwischenentlüftung



1 Abgasklappe 1
2 Abgasklappe 2
3 Luftklappe
4 Abgassammelleitung

10.2.6 Verlegung von Abgasrohrleitungen

Wegen der relativ hohen Abgastemperaturen ist die Wärmeausdehnung besonders groß (ca. 1-1,5 mm/m und 100 °C).

Zur Vermeidung unzulässig hoher Spannungen in den Abgasrohren müssen an geeigneten Stellen Kompensatoren vorgesehen werden, die die Wärmeausdehnung der Abgasrohre und Komponenten kompensieren. Die Abstützungen der Abgasleitung sind der Leitungsverlegung entsprechend als Festlager und Loslager auszulegen. Sie dürfen nicht am ATL bzw. Motor abgestützt werden. Der erste Festpunkt ist direkt nach dem Kompensator am Turboladeraustritt vorzusehen. Besonders in das Abgassystem eingebaute Komponenten wie Wärmetauscher, Katalysatoren, Schalldämpfer usw. sind durch den Einbau von Kompensatoren am Eintritt und Austritt vor Spannungen durch Ausdehnung der Abgasrohre zu schützen. Die Abgaskompensatoren sind gemäß den Richtlinien des Herstellers einzubauen (zulässiger Axial- und Lateralversatz ist einzuhalten). Wegen der hohen Betriebstemperaturen wird das Abgassystem durchgehend mit einer Isolierung versehen. Lediglich bei im Freien verlegten Rohrleitungen ist für die Abgasleitungen nach Abgaswärmetauscher ein Berührungsschutz ausreichend.

10.2.7 Zusätzliche Planungshinweise für Abgaswärmetauscher und Schalldämpfer

10.2.7.1 Hebeösen

Für die bessere Handhabung bei der Einbringung ist es unter Umständen sinnvoll, Hebeösen anzubringen.

10.2.7.2 Körperschall

Bei der Befestigung ist zu beachten, dass gegebenenfalls schalltechnische Aspekte eine Rolle spielen. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass wenig Körperschall auf andere Bauteile übertragen wird. Aus diesem Grunde werden Schwingungsdämpfer in die Füße bzw. in die Aufhängung eingebaut. Dies gilt sowohl für die stehende als auch für die hängende Version. Da aus Temperaturgründen die Rohrleitungen und das Katalysatorgehäuse isoliert sind, ist bei den meisten Anlagen keine weitere Schallisolierung dieser Bauteile nötig.

10.2.7.3 Aufstellung

Beim Aufstellen von Katalysatorgehäusen, Abgaswärmetauscher und Abgasschalldämpfer ist zu vermeiden, dass die Bauteile über die Füße gekippt werden.
Dies führt unweigerlich zu Beschädigungen an Gehäuse und Bauteilen. Vorhandene Füße sind nur für die geplante Einbaubelastung vorgesehen. Der Kunde muss daher spätestens bei der Bestellung die Einbausituation der Bauteile angeben. Werden die Bauteile nicht fest auf dem Fundament bzw. auf einem Stahlbau angeschraubt, sondern besitzen einen Fuß, der auf einem Gleitlager sitzt, ist bei der Montage darauf zu achten, dass genügend Gleitmittel zwischen Gleitplatte und Fußplatte vorhanden ist. Durch gelegentliche Kontrolle ist sicherzustellen, dass auch beim späteren Betrieb die Platten ausreichend geschmiert sind.

10.2.7.4 Reinigung des Abgaswärmetauschers

Bei der Aufstellung des Abgaswärmetauschers ist ausreichend Platz vorzusehen, damit der Abgaswärmetauscher gereinigt werden kann.

10.2.8 Abgaskamine

Besonders in der Nähe von Wohngebieten müssen unzulässige Immissionen durch die Abgase der Motoren vermieden werden. Durch Kamine werden die Abgase an einem hohen Punkt in die Atmosphäre abgeleitet.
Abgaskamine sind zur Vermeidung von Taupunktunterschreitung im Abgas zu isolieren. Die Abgasgeschwindigkeit im Kamin sollte zwischen 15-20 m/s liegen. Über 20 m/s besteht die Gefahr von Resonanzschwingungen der Gassäule. Eine große Austrittsgeschwindigkeit ergibt eine dynamische Schornsteinüberhöhung und verbessert die Ausbreitung des Abgases, erhöht jedoch das Strömungsrauschen.
Die Zugwirkung des Kamins, diese ist von der Kaminhöhe abhängig, vermindert den Gegendruck im Abgassystem. Durch den Einbau von Deflektorhauben am Kaminaustritt kann jedoch die Zugwirkung des Kamins teilweise oder ganz kompensiert werden, so dass in ungünstigen Fällen auch im Kamin mit einem Gegendruck zu rechnen ist.
Abgaskamine sind mit einer Dauerentwässerung auszurüsten und witterungsbedingte Verunreinigungen sind auszuschließen (z.B. Regen, Schnee usw.)
An allen Bauteilen ist an der tiefsten Stelle eine Dauerentwässerung vorzusehen. Die Kondensatentsorgung ist im Einzelfall zu klären und im Bedarfsfall über eine Neutralisationseinrichtung zu leiten.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 11

Druckluftsystem

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

11.	**Druckluftsystem**	**3**
11.1	Komponenten des Druckluftsystems	5
11.1.1	Kompressoren	5
11.1.2	Druckluftbehälter	5
11.1.3	Druckluftleitungen	5
11.2	Niederdruckluftsystem	6
11.3	Sicherheitshinweis	6
11.4	Druckluftqualität	6

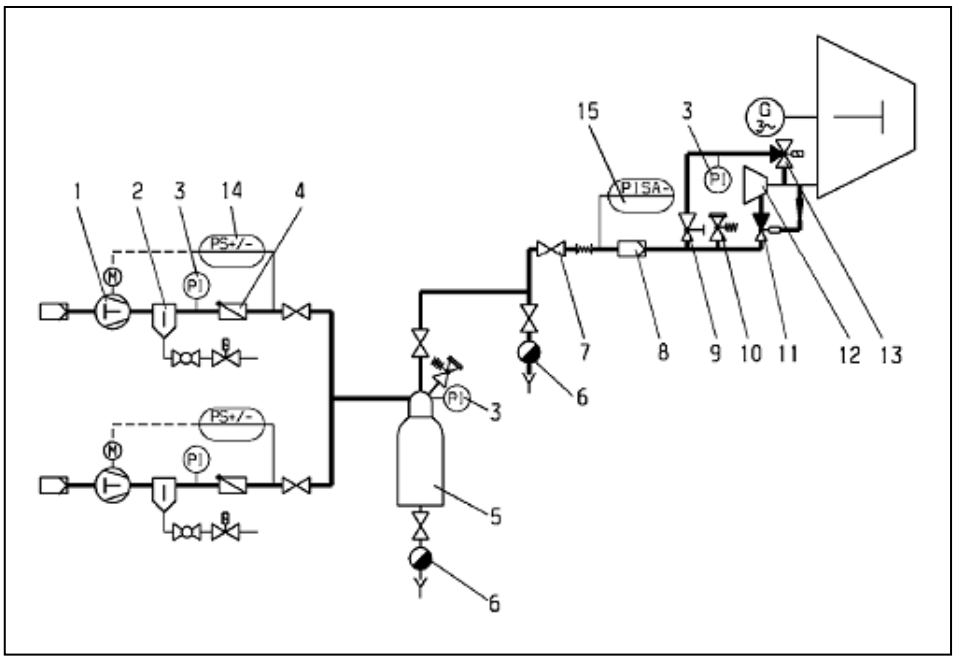
11. Druckluftsystem

Einige Motorbaureihen werden mit Druckluft gestartet. Der Start wird mit einem Druckluftanlasser über einen Zahnkranz am Schwungrad ausgeführt. Die Tabelle 11.1 zeigt die bei den Baureihen eingesetzten Startsysteme.

Tab. 11.1

Motor-Bauart	Druckluftstarter über Zahnkranz	Elektro-Starter
TCG 2016		■
TCG 2020(K)	■	■ [Standard]
TCG 2032	■	

Abb. 11.1 zeigt ein Anlassluftsystem für einen Motor mit Druckluftstarter.



1 Kompressor
2 Ölabscheider
3 Manometer
4 Rückschlagventil
5 Druckluftbehälter
6 Kondensatableiter
7 Hochdruckabsperrventil
8 Schmutzfänger
9 Druckminderer
10 Sicherheitsventil
11 Anfahrventil
12 Starter
13 Steuerventil
14 Druckschalter / Kompressor EIN / AUS
15 Druckschalter / Alarm Min. Druck

Der Kompressor (1) befüllt über das Rückschlagventil (4) und den Ölabscheider (2) die Druckluftflasche (5), welche mit einem Wasserabscheider (6)versehen ist. Der Fülldruck der Flasche kann an dem Manometer(3) abgelesen werden. Über das Hochdruck-Absperrventil (7)und den Schmutzfänger (8) wird das Anfahrventil (11)mit Druckluft versorgt. Beim Startbefehl wird das Anfahrventil über das Steuerventil (13) geöffnet und der Starter (12) wird mit Druckluft beaufschlagt. Der Motor startet.

11.1 Komponenten des Druckluftsystems

11.1.1 Kompressoren

Die Kompressoren sollten redundant als Diesel- oder Elektrokompressoren mit entsprechender Ausrüstung für drucklosen Anlauf ausgeführt werden. Die Kompression erfolgt meistens zweistufig mit Zwischenkühlung, der Kompressionsenddruck beträgt 30 bar.
Die Auslegung ist auf das Gesamtvolumen der angeschlossenen Druckluftbehälter abzustimmen.

11.1.2 Druckluftbehälter

Druckluftbehälter sind entweder als stehend oder liegend zu installierende Behälter ausgeführt. Das Behältervolumen richtet sich nach der Type und der Anzahl der angeschlossenen Motoren sowie der Anzahl der geforderten Starts, die ohne Nachfüllen der Luftbehälter möglich sein müssen.
Druckluftbehälter müssen regelmäßig entwässert werden. Stehende Behälter werden über den Ventilkopf entwässert, liegende Behälter müssen mit Neigung in Richtung des Behälterbodens eingebaut werden, damit eine gute Entwässerung am Behälterboden möglich ist. Grundsätzlich werden automatische Entwässerungen empfohlen. Diese sind immer unter dem Behälter anzuordnen, die Entwässerungsleitung vom Behälter zur Entwässerung muss stetig fallend verlegt sein.

11.1.3 Druckluftleitungen

In der Auffüllleitung zwischen Kompressor und Druckluftbehälter ist ein Öl- und Wasserabscheider einzubauen, sofern dieser nicht am Kompressor vorgesehen ist..
Die Anlassleitung zwischen Druckluftbehälter (Behälterkopf) und Hauptanfahrventil des Motors ist möglichst kurz und mit möglichst wenig Krümmern zu verlegen. Je nach Verlegung der Leitungen ist an den tiefsten Stellen eine automatische Entwässerungsmöglichkeit vorzusehen.
In der Anlassleitung wird der Einbau eines Schmutzfängers mit Entwässerungsventil empfohlen. Beim Einbau des Schmutzfängers ist auf die Einbaulage (Siebausbau immer nach unten) und die Flussrichtung zu achten. Der Schmutzfänger ist bei Aggregaten mit Druckluftstart Bestandteil des Startsystems.
Bei einer Mehrmotorenanlage kann eine Ringleitung die Verfügbarkeit der Anlage erhöhen.
Schweißrückstände und sonstige Verunreinigungen in der Druckluftleitung sind unbedingt zu vermeiden.
Die Anlassluftleitungen sind grundsätzlich mit Edelstahlrohren auszuführen (siehe auch Kapitel 20.2)!

11.2 Niederdruckluftsystem

Bei den Motoren der Baureihe TCG 2032 werden die pneumatischen Absperrventile in der Gasregelstrecke standardmäßig über einen Anschluss an der Anlassgruppe mit Druckluft von max. 10 bar versorgt. Der Niederdruckanschluss wird nicht benötigt, wenn Gasregelstrecken mit Magnetventilen eingesetzt werden.

11.3 Sicherheitshinweis

Bei der Durchführung von Arbeiten am Motor ist die Druckluftzufuhr zum Motor grundsätzlich abzusperren, damit kein unbeabsichtigter Start des Motors möglich ist.

11.4 Druckluftqualität

Die Druckluft muss staubfrei und ölfrei sein. Die Kompressoren und die Luftfilterung sind entsprechend auszulegen.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 12

Mess-, Überwachungs- und Begrenzungseinrichtungen

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

12. Mess-, Überwachungs- und Begrenzungseinrichtungen 3

12.1 Überwachung nach DIN EN 12828 3
12.2 Überwachung nach TRD 604 3
12.3 Temperaturmessung 4
12.3.1 Einbauhinweis für Temperaturfühler 4
12.4 Differenzdrucküberwachung 5
12.5 Abgasgegendrucküberwachung 5

12. Mess-, Überwachungs- und Begrenzungseinrichtungen

Sie dienen zum Schutz und zur Regelung des BHKW-Moduls. Außerdem werden die sicherheitstechnischen Anforderungen von Wärmeerzeugern erfüllt.
Für die Mess-, Überwachungs- und Begrenzungseinrichtungen ist eine Konformitätserklärung und CE - Kennzeichnung bezüglich der Niederspannungs-Richtlinie 2006/95/EG bzw. der Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit 2004/108/EC notwendig.
Die Betriebs- und Gebrauchsanleitung sowie die Wartungsanleitung des Herstellers sind beim Einbau der Mess-, Überwachungs- und Begrenzungseinrichtungen zu berücksichtigen.

Grundsätzlich ist beim Einbau folgendes zu beachten:

- zulässige Umgebungstemperatur
- zulässiges Betriebsmedium
- zulässige Mediumtemperatur
- zulässiger Betriebsdruck
- zulässige Einbaulage
- zulässige Strömungsgeschwindigkeit
- erforderliche Mindesteintauchtiefe
- Auswahl der Kabel nach Kapitel 17 (geschirmte Sensoranschlussleitung)

12.1 Überwachung nach DIN EN 12828

Für die Begrenzung von Temperatur, Druck, Strömung und Wassermangel müssen die Geräte folgende Anforderungen erfüllen:

- Temperaturwächter und Begrenzer geprüft nach DIN EN 14597 (Begrenzer mit Wiedereinschaltsperre)
- Druckbegrenzer bauteilgeprüft nach VdTÜV Merkblatt „Druck 100/1“ mit Wiedereinschaltsperre
- Strömungsbegrenzer bauteilgeprüft nach VdTÜV Merkblatt „Strömung 100“
- Wasserstandsbegrenzer bauteilgeprüft nach VdTÜV Merkblatt „Wasserstand 100/2“

12.2 Überwachung nach TRD 604

Für die Begrenzung von Temperatur, Druck und Wassermangel müssen Geräte besonderer Bauart eingesetzt werden.
Der Strömungsbegrenzer muss dem VdTÜV Merkblatt „Strömung 100“ entsprechen.

12.3 Temperaturmessung

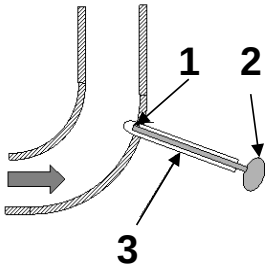
Die Temperaturerfassung erfolgt mit Hilfe von Widerstandsthermometern in den Wasserkreisläufen und Thermoelementen im Abgas. Die temperaturabhängige Widerstands- bzw. Thermospannungsänderung wird mittels Transmitter im Fühlerkopf in ein normiertes Einheitssignal 4 – 20 mA umgesetzt.

12.3.1 Einbauhinweis für Temperaturfühler

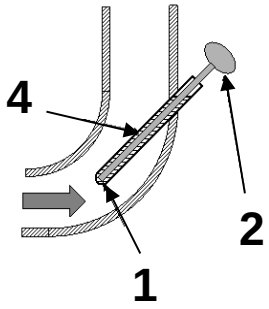
Zwingende Voraussetzung für eine gute Regelung ist die schnelle Erfassung von dynamischen Temperaturänderungen. Die Einbaulage hat erhebliche Auswirkungen auf die Ansprechzeiten und Messfehler.
Abb. 12.1 zeigt gute und schlechte Beispiele für den Einbau in Rohrleitungen. Die Längen der Tauchhülsen sind so an die Rohrleitungen anzupassen, dass die Sensorspitze die Temperatur der Kernströmung erfasst. Der Sensor ist durch ein Wärmeübertragungsmedium an die Tauchhülse anzukoppeln. Hierzu sind temperaturbeständige Öle und Wärmeleitpasten geeignet. Isolierende Luftspalte zwischen Tauchhülse und Sensor sind unbedingt zu vermeiden.

Abb. 12.1 Einbau des Temperaturfühlers

schlecht
(Sensor nicht in der Kerströmung)



gut
(Sensor in der Kernströmung)



1	PT 100 Sensor
2	4-20 mA Transmitter
3	Tauchhülse mit Luftspalt
4	Spalt mit Wärmeübertragungsmedium gefüllt

12.4 Differenzdrucküberwachung

Zur Differenzdrucküberwachung werden Differenzdruckschalter eingesetzt.

12.5 Abgasgegendrucküberwachung

Zur Abgasgegendrucküberwachung wird ein Gasdruckwächter besonderer Bauart im Sinne des VdTÜV Merkblattes „Druck 100/1“ eingesetzt. Die Messleitung muss stetig steigend zum Sensor hin verlegt sein.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 13

Anforderungen an BHKW-Anlagen nach der Mittelspannungsrichtlinie (Ausgabe Juni 2008 mit 4. Ergänzung Januar 2013)

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

13. Anforderungen nach der Mittelspannungsrichtlinie 3
13.1 Mittelspannungsrichtlinie Ausgabe 2008 mit 4. Ergänzung 3
13.2 Statische Spannungshaltung 3
13.3 Dynamische Netzstützung 3
13.4 Anforderungen an das BHKW-Aggregat 4
13.5 Zertifizierung der Aggregate (ab Januar 2014) 5
13.6 Simulationen und Messungen 5
13.7 Zuordnung Generatoren für Netzanschlussbedingungen 7
13.8 Internationale Netzanschlussbedingungen 7

13. Anforderungen nach der Mittelspannungsrichtlinie

Die Mittelspannungsrichtlinie regelt u.a. das Verhalten von Stromerzeugern am Mittelspannungsnetz bei bestimmten Betriebsbedingungen. Vor 2008 gab es für BHKW-Anlagen die Vorgabe, sich im Fehlerfall sofort vom Netz zu trennen. Für eine schelle Trennung wurden spezielle Schutzgeräte wie z.B. das Vektor-Spannungsrelais entwickelt und eingesetzt. In der Netztechnik wurden BHKW-Anlagen als sogenannte "negative Verbraucher" behandelt. Bei einem Ausfall einer BHKW-Anlage reduzierte sich lediglich die Verbraucherlast.

13.1 Mittelspannungsrichtlinie Ausgabe 2008 mit 4. Ergänzung

Durch die fortschreitende Dezentralisierung der Stromerzeugung mit Photovoltaik-, Wind-, Wasser- und BHKW-Anlagen erhalten diese Anlagen innerhalb des Versorgungsnetzes eine immer stärkere Bedeutung. Der größeren Bedeutung entsprechend wurden die Anschlussbedingungen von Stromerzeugern am Mittelspannungsnetz in der folgenden Richtlinie neu geregelt:

> Erzeugungsanlagen im Mittelspannungsnetz
> Richtlinie für Anschluss und Prallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz
> Ausgabe Juni 2008 mit der 4. Ergänzung ab 01.01.2013

Nach dieser neuen Richtlinie müssen sich neben Photovoltaik-, Wind- und Wasser-Anlagen auch BHKW-Anlagen an der statischen und dynamischen Netzstützung beteiligen.

13.2 Statische Spannungshaltung

Unter statischer Spannungshaltung versteht man die Spannungshaltung im Mittelspannungsnetz für den normalen Betriebsfall. Hierbei werden langsame Spannungsänderungen im Verteilungsnetz in verträglichen Grenzen gehalten.

13.3 Dynamische Netzstützung

Unter dynamischer Netzstützung versteht man die Spannungshaltung bei Spannungseinbrüchen im Mittelspannungsnetz. Dadurch wird die Abschaltung großer Einspeiseleistungen und Netzzusammenbrüche vermieden.

13.4 Anforderungen an das BHKW-Aggregat

Mit den oben beschriebenen technischen Bedingungen für die statische und dynamische Netzstützung verändern sich die Anforderungen an das BHKW-Aggregat (Motor und Generator) und an die Betriebsweise der Anlage. Bisher wurden BHKW-Anlagen für maximalen Wirkungsgrad und maximale Leistung bei cosφ=1 ausgelegt. Mit der neuen Mittelspannungsrichtlinie müssen weitere Anforderungen berücksichtigt werden:

- vergrößerter Spannungs- und Frequenzbereich
- Leistungsreduktion über der Frequenz
- externe Leistungsvorgabe
- variabler cosφ
- dynamische Netzstützung

Bei der dynamischen Netzstützung muss die BHKW-Anlage in der Lage sein, bei einem Spannungseinbruch oberhalb der in Abb. 15.1 dargestellten Kennlinie am Netz zu bleiben und die nachfolgende Spannungs-Kennlinie beim FRT-Fall (Fault Ride Through) zu durchfahren.

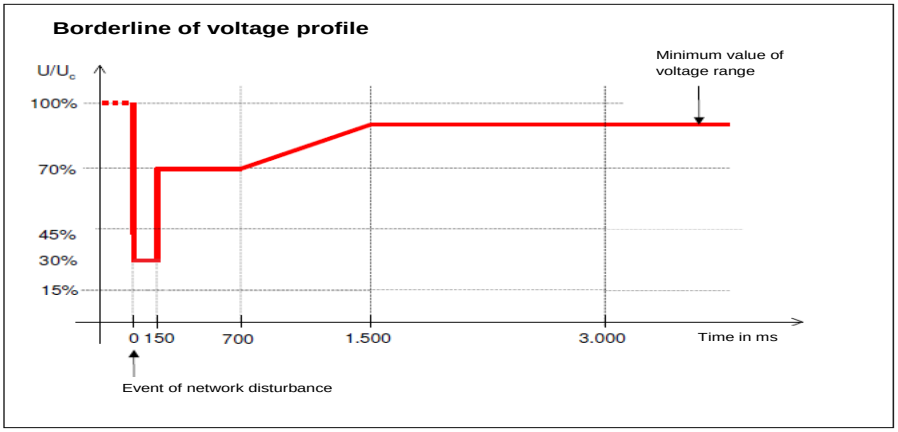


Abb.15.1: Grenzlinie für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt (FRT-Fall)

Die BHKW-Anlage darf sich erst vom Netz trennen, wenn die Spannung am Netzanschlusspunkt unter die Grenzkurve fällt. Wenn die Spannung am Anschlusspunkt unter 30% der Nennspannung fällt, kann die BHKW-Anlage vom Netz getrennt werden. Bei einem Spannungseinbruch unter70% darf die Trennung erst nach 150ms erfolgen.

Die dynamische Netzstützung stellt technisch hohe Anforderungen an das BHKW-Aggregat. Die Aggregatesteuerung und die Komponenten (z.B. Trägheitsmoment des Generators) müssen für ein sicheren Betrieb im FRT-Fall angepasst sein.

13.5 Zertifizierung der Aggregate

Die Eignung der Aggregate für den Betrieb am Mittelspannungsnetz muss nachgewiesen und durch ein akkreditiertes Zertifizierungsinstitut nach EN45011 mit einem Zertifikat bestätigt werden.
Für die EZE (Erzeugungseinheit) stellt der Zertifizierer ein EZE-Zertifikat aus und für die Schutzeinrichtung gibt es ein Komponentenzertifikat vom jeweiligen Hersteller.
Für die komplette Anlage EZA (Erzeugungsanlage) stellt der Zertifizierer ein EZA-Zertifikat aus.

13.6 Simulationen und Messungen

Für die Aggregate wurden Simulationen für den FRT-Fall mit einem Modell durchgeführt. Anhand dieser Simulationen sind die Generatoren zur Erfüllung der dynamischen Netzstützung ausgelegt worden.
Die nachfolgenden Tests wurden am realen Netz durchgeführt. Über einen Testcontainer wurde die Spannung des Netzes auf den entsprechenden Wert abgesenkt und das Verhalten des Aggregates gemessen.
Wie die Messung und auch die Simulation bei diesem Beispiel zeigen, stützt das Aggregat bei einer Spannungsabsenkung auf 30% für 150msec am Netzanschlusspunkt die Spannung auf ca. 55% der Nennspannung. Dabei beträgt die Generatorspannung ca. 67% des Nennwertes (Bild2). Der Generatorstrom steigt dabei bis auf 4,7xIn an (Bild3). Die Drehzahlschwankungen und den Polradwinkel zeigen Bild 4 und Bild 5.

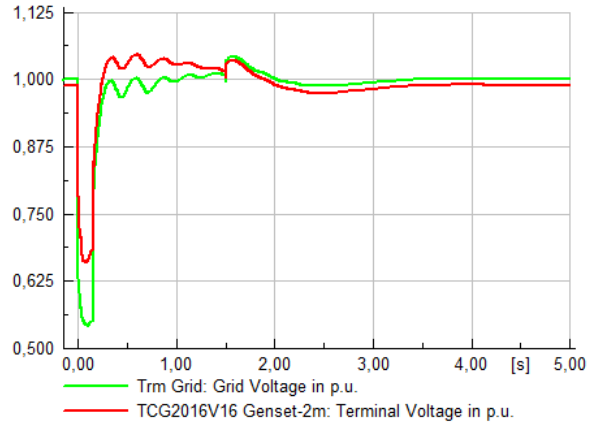


Bild 2. Spannung am Netzanschlusspunkt und am Generator

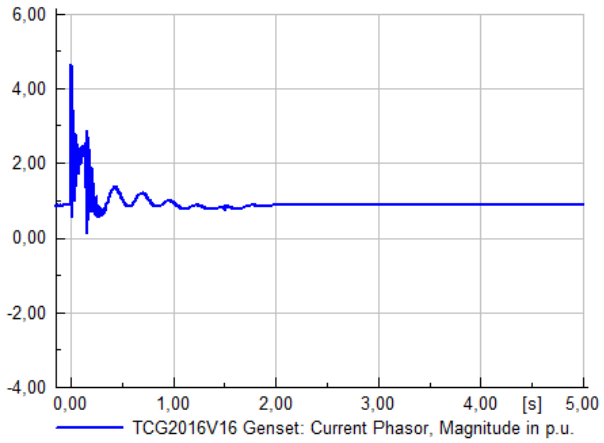


Bild 3. Generatorstrom

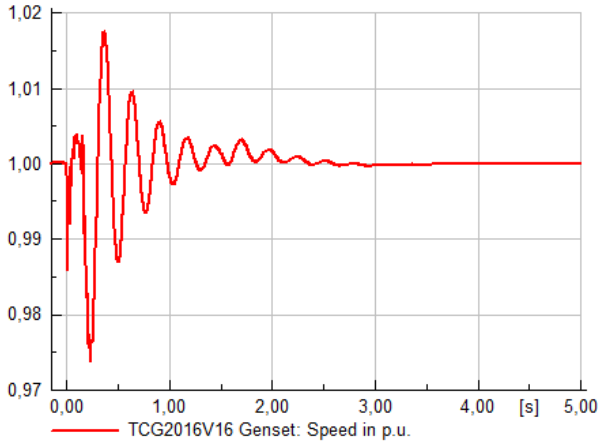


Bild 4. Aggregatedrehzahl

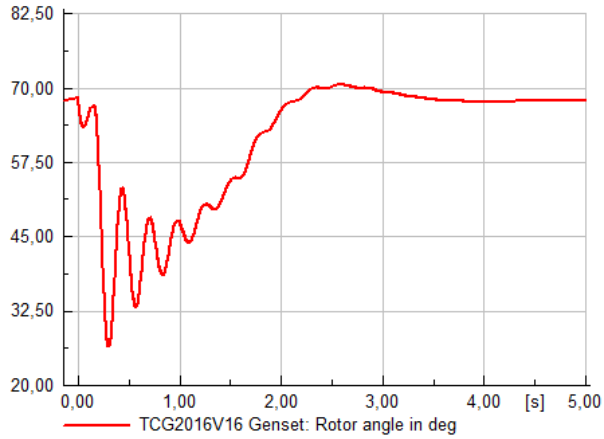


Bild 5. Polradwinkel des Generators

13.7 Zuordnung Generatoren für Netzanschlussbedingungen

Zur Erfüllung der Netzanschlussbedingungen wurden für die einzelnen Motortypen die Generatoren neu zugeordnet. Mit Ausnahme des Aggregates TCG 2016 V08 C wurden Generatoren mit höherem Massenträgheitsmoment festgelegt

Aggregat	Generator	Massenträgheitsmoment Generator [kgm²]
TCG 2016 V08 C	Marelli MJB 355 MB4	13,12
TCG 2016 V12 C	Marelli MJB 400 LC4	26
TCG 2016 V16 C	Marelli MJB 450 MB4	33,8
TCG 2020 V12K1	Marelli MJB 450 LB4	33,8
TCG 2020 V12 / V12K	Marelli MJB 500 MB4	50
TCG 2020 V16 / V16K	Marelli MJB 500 LA4	59
TCG 2020 V20	Marelli MJB 560 LB4	96,5

Tab. 17.1 Zuordnung der Generatoren

13.8 Internationale Netzanschlussbedingungen

Neben der Mittelspannungsrichtlinie, die in Deutschland gültig ist, gibt es in anderen Ländern, innerhalb und auch außerhalb der EU, länderspezifische Vorschriften, welche die Randbedingungen für den Parallelbetrieb am Netz vorgeben. Immer mehr Länder überarbeiten diese Vorschriften unter dem Gesichtspunkt der dezentralen Versorgung mit erneuerbarer Energie.

In Europa wurde vom Verband der Europäischen Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E Vorschriften erarbeitet. In der Vorschrift *Requirements for Network Connection Applicable to all Generators* sind die Rahmenbedingungen für die länderspezifische Richtlinien/Vorschriften festgelegt. Nach deren Verabschiedung ist diese Vorschrift in den länderspezifischen Richtlinien zu berücksichtigen.

Darüber hinaus wird von CENELEC (European Commitee for Electrotechnical Standardization) eine in Europa geltende Norm für die Netzanschlussbedingungen erarbeitet. Diese Norm wird als DIN EN-Vorschrift anschließend veröffentlicht werden.

Weil die Vorschriften zur Zeit in vielen Ländern überarbeitet bzw. neu erstellt werden, ist für die Aggregate/Anlagen im Einzelfall zu prüfen, ob die Bedingungen eingehalten werden.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 14

Elektrische Schaltanlagen

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

14.	**Elektrische Schaltanlagen**	**3**
14.1	TEM-System für Gasmotoren	3
14.1.1	TEM-EVO-System	3
14.1.2	Aufbau	4
14.1.3	Betriebstagebuch und Historien	4
14.1.4	Diagnose und Servicefunktionen	5
14.1.5	Technische Daten	5
14.1.6	Einbauhinweise für den I/O- Controller	6
14.2	Vorteile für den Anwender	7
14.3	Steuerung und Versorgung der Hilfsantriebe – Hilfsantriebeschrank „HAS“	7
14.4	Leistungsteil – Gneratorleistungsfeld „GLF“	7
14.5	Zentralsteuerung – Zentrale Anlagensteuerung „ZAS“	8

14. Elektrische Schaltanlagen

Bei der Ausrüstung und der Installation von Schaltanlagen sind neben den allgemeinen anerkannten Regeln der Technik insbesondere folgende Vorschriften zu beachten: Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG, EMV-Richtlinie 2004/108/EC, VDE 0116, VDE 0660 Teil 500 und BGV A2. Beim Arbeiten in Steuer- / Schaltschränken mit elektrischen Baugruppen, wie Handling mit elektrostatisch empfindlichen Bauelementen (z.B. Leiterplatten), ist die entsprechende Service-Mitteilung und die darin speziell aufgeführten DIN EN 61340 – 5 – 1 und DIN EN 61340-5-2 zu beachten. Die Schaltanlagen sind für Umgebungstemperaturen von 0° C bis 40° C und 5- 70% relativer Luftfeuchte auszulegen. Die Schaltschrankinnentemperatur darf 45°C nicht überschreiten.
Ausgenommen hiervon sind die Wandschränke der TEM-Steuerungen, bei denen die Schaltschrank-innentemperatur bis auf 50°C ansteigen darf.
Die Verlustwärme der Schaltgerätekombinationen sind bei Bedarf mit Hilfe von thermostatgesteuerten Ventilatoren abzuführen, um ein Überschreiten der zulässigen Innentemperaturen zu vermeiden. Bei höheren Umgebungstemperaturen ist eine Klimatisierung des Schaltanlagenraumes oder eine Schaltschrankklimatisierung vorzusehen. Eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Schaltschränke ist durch eine entsprechende Anordnung zu verhindern.

14.1 TEM-System für Gasmotoren

Das TEM System ist der Kopf des gesamten Gasmotor-Moduls einschließlich der Motorsteuerung, Regelung und Überwachung des Gasmotors sowie optional der Notkühlung, Heizkreisregelung und Überwachung. Es ist Bedien- und Beobachtungsschnittstelle zum Betreiber, regelt und optimiert die Gasverbrennung in den Zylindern, steuert und überwacht das Motor/ Generatoraggregat mit allen Hilfseinrichtungen. Durch die Überwachungsfunktionen schützt es das Aggregat vor unerlaubten Grenzzuständen und garantiert hohe Laufzeiten. Durch integrierte Regelfunktionen sorgt es für optimierte und reproduzierbare Motorwerte in allen Betriebszuständen.
Die integrierte Kurz- und Langzeithistorie speichert die relevanten Messwerte auf remanente Datenspeicher ab und macht die eigenen Vorgänge transparent.

14.1.1 TEM-EVO-System

Im TEM-EVO-System sind die unter Kapitel 14.1 beschriebenen Funktionen in modularer Bauweise enthalten.
Außerdem ist es durch eine breite Palette von Optionen möglich, das TEM-EVO-System optional auf bestimmte Anwendungsfälle anzupassen (z.B. der Antiklopfregelung (AKR), Maschinenraumlüftung, Steuer- und Regelung der Tischkühler im Heizkreis, Motorkreis, Notkühlkreis und Gemischkühlkreis sowie

parametrierbare Messwerte, Zählwerte und Regelkreise, CH_4-Wert geführter Betrieb u.a.). Einfache Bedienung, eine hohe Betriebssicherheit und optimierte Wirtschaftlichkeit sind das Ergebnis.

14.1.2 Aufbau

Das TEM-EVO-System besteht aus 3 Komponenten:

- Aggregateschrank (AGS) komplett mit angeklemmten Kabeln zum Aggregat, enthält die Aggregatesteuerung und die TÜV-geprüfte Sicherheitskette. Die Kabellänge zwischen dem Gasmotor und dem TEM-Schrank beträgt 8 m (optional 15 m).
- I/O- Controller zum Einbau in den Hilfsaggregateschrank (HAS, max. 250 m Abstand vom Aggregateschrank, Verkabelung mit geschirmter dreiadriger Busleitung)
- Bedienrechner (max. 100 m Abstand vom Aggregateschrank, Verkabelung mit geschirmter dreiadriger Leitung) für den Einbau in den Hilfsantriebeschrank bzw. externes Steuerfeld.

Durch diesen Aufbau wird der Verkabelungsaufwand in der Anlage minimiert.
Der Aggregateschrank wird in unmittelbarer Nähe zum Aggregat aufgestellt. Zusammen mit der im Werk geprüften Motorverkabelung gewährleisten die fertig am Aggregateschrank angeklemmten und geprüften Kabel zum Aggregat (aggregatseitig mit Steckverbindern) eine problemlose Inbetriebnahme und hohe Betriebssicherheit. Die den Leistungsteil betreffenden Signale werden direkt im Hilfsaggregateschrank über den I/O- Controller mit dem TEM-EVO-System ausgetauscht. Die Datenübertragung zur Aggregatesteuerung erfolgt über eine fehlersichere CAN-Busverbindung.
Der Bedienrechner ist frei auf der Anlage platzierbar, also je nach Wunsch im Hilfsaggregateschrank oder in der Schaltwarte. Die max. Entfernung vom TEM-Schrank beträgt 100 m.

14.1.3 Betriebstagebuch und Historien

Das elektronische Betriebstagebuch des TEM-EVO-Systems ersetzt durch seine Protokollierfunktionen ein manuell geführtes Tagebuch. Alle Betriebsmeldungen und betriebswichtigen Schalthandlungen sowie jede Parameter-Änderung werden mit genauem Zeitstempel (Datum/Uhrzeit) protokolliert.
Insgesamt kann das TEM-EVO-System über 600 verschiedene Ereignisse überwachen und unterscheiden. Dies ermöglicht eine schnelle und detaillierte Analyse der Betriebsweise des Aggregates incl. der von TEM-EVO gesteuerten Hilfsfunktionen.
Die Historienfunktion zeichnet bis zu 84 Messwerte auf. Bis zu 20 Messwertkurven können in einem Diagramm gemeinsam dargestellt werden. Der Benutzer kann die Messwertkurven selbst zusammenstellen.
TEM-EVO zeichnet Historien in drei Geschwindigkeitsstufen auf:

- Arbeitsspielhistorie: Aufzeichnung der Momentanwerte in jedem Arbeitsspiel
  (1 Arbeitsspiel = 2 Kurbelwellenumdrehungen)
- 6 min.Historie: Aufzeichnung der Momentanwerte in jeder Sekunde
- 40 h-Historie: Aufzeichnung von 6min-Messwerten.

14.1.4 Diagnose und Servicefunktionen

Zusätzlich zu Historie und Betriebstagebuch enthält das TEM-EVO Basissystem weitere Diagnose- und Servicefunktionen, welche wertvolle Dienste zur frühzeitigen Erkennung von Abnormalitäten leisten und es dadurch ermöglichen, den Betrieb der Anlage zu optimieren. Störungssituationen lassen sich schneller beheben und auch die Inbetriebnahme wird durch diese Funktionen erheblich vereinfacht und beschleunigt. Dies trägt entscheidend zur gesamten Wirtschaftlichkeit des Gasmotoren-Moduls bei.

Folgende Service und Diagnosefunktionen stehen zur Verfügung

- Hilfsaggregat-Testmodus
- Digitaler Drehzahlregler
- Elektronische Zündanlage
- Parametrierung
- Ölwechsel
- Elektronischer Betriebstundenzähler
- Sprachen- und Druckerauswahl
- System-Setup (Software-Versionen, Seriennummern, Farbeinstellungen, Bildschirmschoner, etc.)
- Für Optionen zum Teil weitere Diagnose/Servicemasken (z.B. Antiklopfregelung, Zweigasbetrieb)

Die Service- und Diagnosemasken können wie alle anderen Masken auch per Analog-, Funk- oder IP-Modem(Internet) übertragen werden (Option). Dadurch sind Ferndiagnose und Ferntherapie durch unseren Kundendienst oder durch eigene Bereitschaftsmitarbeiter mit besonders kurzer Reaktionszeit möglich.

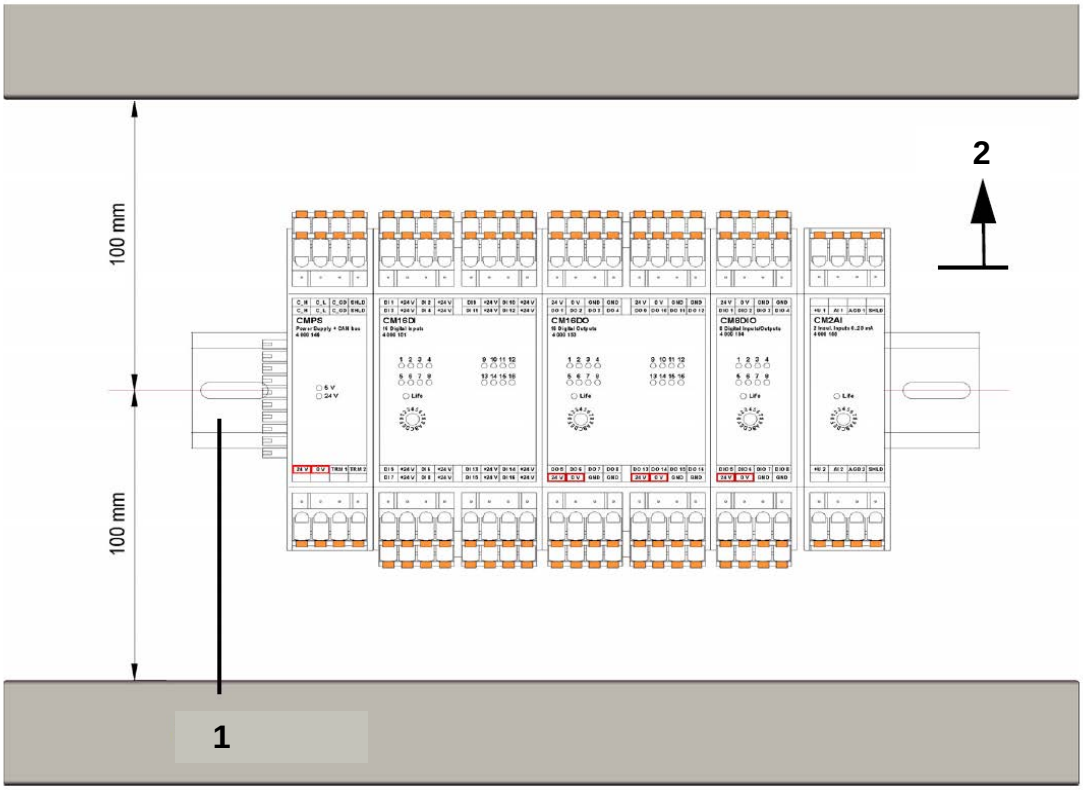
14.1.5 Technische Daten

- Aggregateschrank: Standard-Abmessungen: 1200x800x300 mm (HxBxT); Schutzart: IP 54, Betriebstemperaturen: 5-50°C, Kabeleinführungen von unten.
- I/O- Controller: Abmessungen: 114,5x112 mm (TXH); Länge je nach Anzahl der Optionen; Schutzart: IP 20, Betriebstemperaturen: 5-45°C
- Bedienrechner: Abmessungen: 311 x 483 x 101 mm (H x B x T) inklusive Frontplatte; Einbautiefe 95 mm; Montageausschnitt 282 x 454 mm (H x B); Schutzart frontseitig: IP 65, Betriebstemperaturen: 5-40°C

14.1.6 Einbauhinweise für den I/O- Controller

Der I/O- Controller muss auf einer waagerecht montierten 35-mm Hutschiene (EN 50022) in einen Schaltschrank eingebaut werden. Die Einbaulage der Module muss senkrecht (Abb. 1) sein, damit eine ausreichende Durchlüftung gewährleistet ist. Der Abstand zwischen zwei Kabelkanälen sollte 200 mm betragen (mindestens 160 mm).Neben den IO-Bausteinen ist ein freier Platz für die eventuelle Nachrüstung weiterer IO-Bausteine vorgesehen. Dieser Platz darf beim Einbau in den Schaltschrank nicht mit anderen Bauteilen zugebaut werden.

Abb. 1 : I/O-Controller



1 Hutschiene

2 oben

14.2 Vorteile für den Anwender

Für den Anwender ergeben sich mit TEM- EVO folgende Vorteile:

- Kompakter Aufbau und Integration vieler peripherer Zusatzfunktionen wie Wärmeverwertung u.ä..
- Hoher Motorwirkungsgrad durch geregelten Betrieb im Optimal-Betriebspunkt.
- Dauerhaft niedrige Abgas-Emissionswerte.
- Hohe Anlagensicherheit durch automatische Plausibilitätsüberprüfung.
- Schnelle Störungsbeseitigung durch Anzeige von Messwerten sowie von Warn- und Störmeldungen.
- Schneller, kostengünstiger Service durch erweiterte Diagnose-Möglichkeiten mit Hilfe von Kurz- und Langzeithistorie.
- Effektive Fernbedienung und Ferndiagnose über die zentrale Leitwarte oder andere externe Rechner über Telefon- oder Funkmodem (Option).
- Zusätzliche Ferndiagnose-Möglichkeiten über Telefonmodem durch den Service (Option).

14.3 Steuerung und Versorgung der Hilfsantriebe – Hilfsantriebeschrank „HAS“

Eine typische Anlage enthält neben dem TEM-System pro Aggregat ein Feld für Hilfsantriebe, Synchronisierung und Generator-Schutz sowie entsprechende Ladegeräte.
Unter Hilfsantriebe sind alle Leistungsabgänge für Pumpen, Regelventile, Klappen, Lüfter, usw. zu verstehen.
Die Synchronisierung sorgt für eine synchrone Zuschaltung zum Netz durch einen Feinabgleich. Abgleich der Motordrehzahl auf die Netzfrequenz, der Spannung sowie der Phasenlage.
Unter Generatorschutz sind alle erforderlichen und empfohlenen Überwachungseinrichtungen für den Generator nach ISO 8528 - 4 zu verstehen.
Die Batterieladegeräte laden die Batterie im Normalbetrieb entsprechend der Konstant-Spannung /Konstant-Strom -Kennlinien auf.

14.4 Leistungsteil – Gneratorleistungsfeld „GLF“

Im Leistungsteil befindet sich der Generatorleistungsschalter und die entsprechenden Wandler für den Generatorschutz. Die Messwandler für Strom und Spannung sind ebenfalls im Leistungsteil angeordnet.
Bei Kleinanlagen besteht die Möglichkeit Leistungsteil und Hilfsantriebefeld in einen Schrank unterzubringen.
In größeren Anlagen bzw. Mittelspannungsanlagen erfolgt die Aufstellung der Leistungsteile in einem separaten Schaltanlagenraum.

14.5 Zentralsteuerung – Zentrale Anlagensteuerung „ZAS“

Die Zentralsteuerung übernimmt alle übergeordneten Steuer- und Überwachungsfunktionen, die bei einer Mehrmotorenanlage zu berücksichtigen sind.

Funktionen der Zentralsteuerung für die einzelnen Aggregate:

- An- und Abwahl
- Leistungsvorgabe der Aggregate
- Vorgabe der Betriebsart
- Netzparallel-, Insel-, Ersatzstrom-Betrieb

Mögliche zusätzliche Funktionen der Zentralsteuerung:

- Steuerung der unterschiedlichen Betriebsarten
- Gasartenauswahl
- Netzausfallüberwachung
- Steuerung und Überwachung der Schmierölversorgung und Altölentsorgung (Schmieröltagestank; Altöltank)
- Steuerung und Versorgung zentraler Pumpen
- Steuerung und Versorgung von zentralen Notkühleinrichtungen
- Überwachung und Steuerung eines Wärmespeichers
- Gasbehälterstandsabhängige Betriebsweise
- Steuerung und Versorgung der Lüftungsanlage
- Steuerung und Versorgung der Gaswarnanlage
- Steuerung und Versorgung von Brandschutzeinrichtungen usw.

Daneben ist eine Handbedienebene vorzusehen, die eine örtliche Bedienung der Anlage möglich macht, falls das Prozessleitsystem ausfällt.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 15

Inselbetrieb

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

15. Inselbetrieb mit Gasmotoren 3

15.1 Allgemeine Beschreibung des Inselbetriebes 3

15.2 Inselbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb 4

15.3 Inselbetrieb ohne öffentliches Netz 6

15.4 Ersatzstrombetrieb gemäß DIN VDE 0100-710 / DIN VDE 0100-560 / DIN EN 50172/ DIN VDE 0100-718 8

15.5 Wirklastverteilung im Inselbetrieb 8

15.6 Start von großen Verbrauchern 8

15.7 Schwarzstart 9

15.8 Erdungssystem 9

15.9 Emissionen 9

15.10 Zusammenfassung 10

15. Inselbetrieb mit Gasmotoren

15.1 Allgemeine Beschreibung des Inselbetriebes

Gasmotoren können in verschiedenen elektrischen Fahrweisen betrieben werden. Im Regelfall fahren die Gasmotoren parallel zum öffentlichen Netz. Das öffentliche Netz wird als ein großes System mit hoher Trägheit gesehen, bei dem Lastauf- bzw. Lastabschaltungen von Einzelverbrauchern keine Spannungs- und Frequenzschwankungen verursachen. Gasmotoren wurden für den Netzparallelbetrieb mit einem hohen Wirkungsgrad entwickelt und ausgelegt. In einigen speziellen Fällen hat der Kunde jedoch kein oder kein kontinuierliches öffentliches Netz zur Verfügung. Aus diesem Grund wird als Option Inselbetrieb angeboten.
Im Inselbetrieb ist die Leistungsregelung des Gasaggregates über das TEM System nicht möglich. Der Leistungsregler wird deaktiviert und die Drehzahlregelung hält die Frequenz konstant. Im Inselbetrieb kann das TEM System nicht selbstständig die Last des Aggregates beeinflussen. Aus diesem Grund müssen die Randbedingungen wie Lufteintrittstemperatur und Motorkühlwassereintritt eingehalten werden. Daher muss die Lastaufschaltung auf jedes Gasaggregat sowie der Lastabwurf, insbesondere bei den hochaufgeladenen Gasaggregaten (TCG 2016 C, TCG 2020, TCG 2032), durch ein kundenseitiges Lastmanagement-System geregelt werden. Für diesen Fall wurden maximal zulässige Laststufen für jedes Gasaggregat definiert (siehe auch Kapitel 16, Lastzuschaltungen).
Für den Inselbetrieb mit Gasaggregaten muss das Gesamtkonzept der Anlage entsprechend von Beginn des Planungsprozesses detailliert projektiert werden. Aus diesem Grund sind das Anlagen–Single–Line-Diagramm und die Kenntnis der Verbraucher des Kunden (reale Start-Leistung und Anlaufeigenschaft), speziell der großen Verbraucher wie Pumpen und große Ventilatoren notwendig, um einen guten Projektstatus erreichen zu können. Eine weitere wichtige Maßnahme ist die Analyse des Erdungskonzeptes der Gesamtanlage. Um ein effektives, in sich geschlossenes Konzept zu erarbeiten, wird den Kunden während der Projektplanung Unterstützung angeboten.

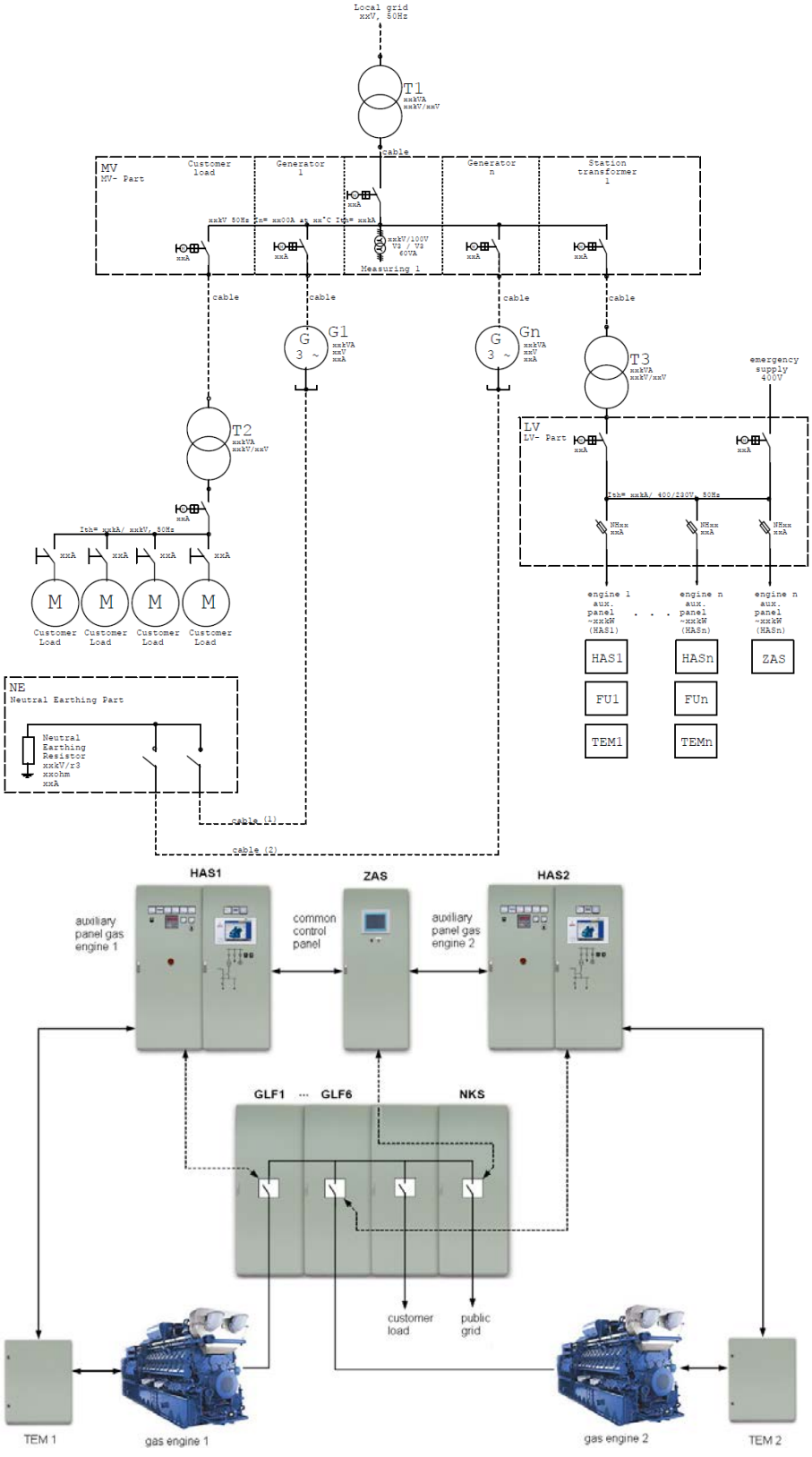
Es werden zwei Möglichkeiten des Inselbetriebes klassifiziert:

- Inselbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb
- Inselbetrieb ohne öffentliches Netz

15.2 Inselbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb

Im Normalbetrieb werden die Gasaggregate parallel zum öffentlichen Netz betrieben. Die Aggregate werden vom Leistungsregler der TEM-Steuerung geregelt. Das öffentliche Netz bestimmt Frequenz und Spannung der Aggregate.
Im Falle eines Netzausfalls wird der Netzleistungsschalter sofort geöffnet. Die Gasaggregate versorgen die Verbraucher der Kundenanlage ohne Unterbrechung.
Das Single–Line–Diagramm (Abb. 15.1) zeigt einen typischen Aufbau für eine Notstromversorgung. Die Hilfsantriebeversorgung der Gasmotoren wird über einen Hilfsantriebetransformator gewährleistet.
Bei einem Netzfehler wird der Netzleistungsschalter geöffnet und das Gasaggregat übernimmt die Versorgung der Verbraucher auf der Anlage. Normalerweise verursacht ein Wechsel vom Netzparallelbetrieb in den Inselbetrieb schnelle Lastwechsel. Überschreiten diese Lastwechsel die relevanten Laststufen, fängt der Turbolader des Gasmotors an zu pumpen und im Extremfall wird der Gasmotor ausgeschaltet. Ein totaler Stromausfall für das gesamte System ist die Folge.
Um dieses Problem zu umgehen, werden Lösungen angeboten, welche die Anforderungen der Gesamtanlage berücksichtigen und während der Projektierung angepasst und abgestimmt werden. Um ein passendes Konzept zu erarbeiten, ist es wichtig, das Verhalten der Gasmotoren zusammen mit den Verbrauchern zu analysieren.

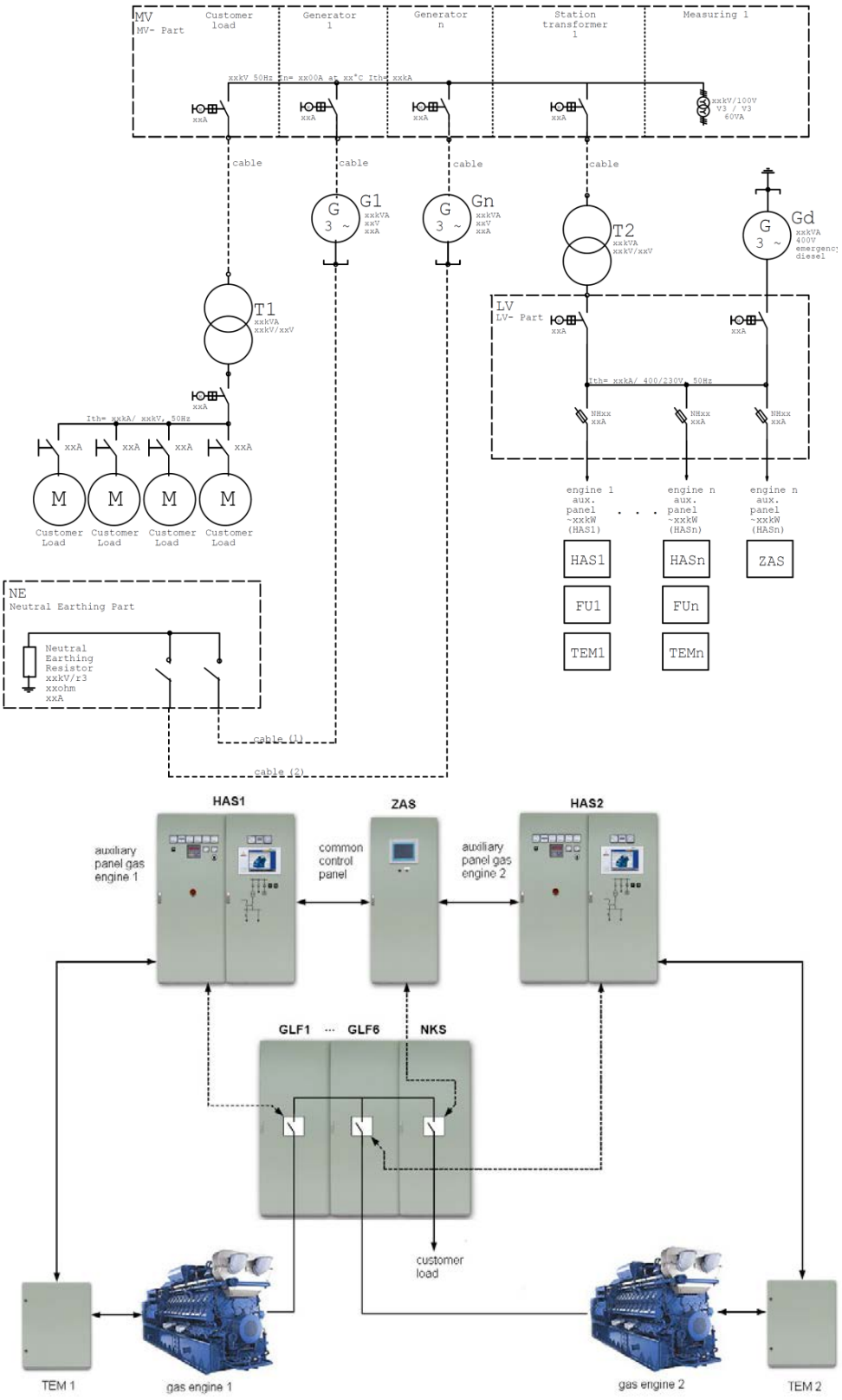
Abb. 15.1 Inselbetrieb nach einem Wechsel aus dem Netzparallelbetrieb



15.3 Inselbetrieb ohne öffentliches Netz

Bei einem Inselbetrieb ist der Startvorgang, die Lastaufschaltung sowie der Lastabwurf zu analysieren. In einigen Anwendungsfällen ist ein Notstromdiesel oder eine USV-Anlage zur Versorgung der Hilfsantriebe zur Vorschmierung und Nachkühlung notwendig (siehe auch 15.7 Schwarzstart).
Das Single-Line-Diagramm (Abb. 15.2) zeigt einen typischen Aufbau für diesen Inselbetrieb. An der 400 V Verteilung ist ein Notstromdiesel angeschlossen, welcher zur Versorgung der Hilfsantriebe als Erstes gestartet wird. Anschließend startet das erste Gasaggregat, welches die kundenseitigen Verbraucher und die Hilfsantriebe über einen Trafo versorgt. Danach kann das Dieselaggregat abgeschaltet werden.
Wenn der Bediener die gesamte Anlage stoppen möchte, werden alle Gasaggregate, bis auf eins, nacheinander abgewählt und die abgeschalteten Gasmotoren heruntergekühlt. Das Diesel-Aggregat wird nun gestartet und auf die Hilfsantriebeschiene synchronisiert. Der Schalter des Hilfsantriebetransformator kann jetzt geöffnet werden. Anschließend wird das letzte Gasaggregat gestoppt und ebenfalls heruntergekühlt. Es ist sehr wichtig, dass die Wärme im Turbolader nach dem Abschalten des Gasaggregates abgeführt wird, um diesen vor Überhitzung zu schützen. Nachdem die Nachkühlzeit abgelaufen ist, wird das TEM–System die Hilfsantriebe der Aggregate stoppen und das Dieselaggregat kann ebenfalls abgeschaltet werden.

Abb. 15.2 Inselbetrieb ohne öffentliches Netz



15.4 Ersatzstrombetrieb gemäß DIN VDE 0100-710 / DIN VDE 0100-560 / DIN EN 50172/ DIN VDE 0100-718

Bei einigen speziellen Anwendungsfällen ist es erforderlich, wichtige Verbraucher im Notfall innerhalb von 15 Sekunden zu versorgen. Um diesen Ersatzbetrieb zu realisieren, müssen die Funktion und die Verbraucher in der Projektierung eindeutig geklärt werden. Die verfügbare Leistung nach 15 Sekunden entspricht der ersten Laststufe gemäß Lasttabelle (siehe auch Kapitel 16). Um den Start des Gasmotors zu gewährleisten, muss er schwarzstartfähig sein. Diese Bedingung erfüllen nur Einmotorenanlagen der Baureihen TCG 2016 C und TCG 2020 V12 und TCG 2020 V16. Der TCG 2020 V20 ist nicht für Ersatzstrombetrieb geeignet, da die Hochlaufzeit zu lang ist.
Im Inselbetrieb mit mehr als einem Gasaggregat wird das erste Aggregat den Ersatzstrom liefern. Die anderen Gasaggregate werden gestartet, nachdem die Stromversorgung des ersten Aggregates stabil ist. Die Hilfsantriebeversorgung der nachfolgenden Gasaggregate wird von dem ersten Aggregat bereitgestellt. Die darauffolgenden Aggregate werden zum ersten Aggregat synchronisiert. In einigen besonderen Fällen ist es möglich, mehr als ein Gasaggregat zu starten um eine höhere Leistung für den Ersatzstromfall bereitzustellen. Die verfügbare Ersatzstromleistung ergibt sich aus der ersten Laststufe multipliziert mit der Anzahl der betriebenen Aggregate. Dies ist ein sehr spezieller Anwendungsfall der Gasaggregate und muss im Detail projektiert werden.

15.5 Wirklastverteilung im Inselbetrieb

Wenn mehr als ein Gasaggregat parallel im Inselbetrieb laufen, muss die Last zwischen den Aggregaten verteilt werden. Dazu wird ein Wirklastabgleich in der übergeordneten Steuerung integriert. Die Steuerung stellt folgende Merkmale bereit: gemeinsame Frequenzregelung für alle synchronisierten Aggregate und optimierte Steuersignale zur Leistungserhöhung und Leistungssenkung je Aggregat, um Lastschwankungen zwischen den Aggregaten zu vermeiden.

15.6 Start von großen Verbrauchern

Einige Verbraucher wie Pumpen oder Ventilatoren haben eine effektive Startleistung, welche ein Vielfaches der Nennleistung beträgt. Im Fall einer hohen effektiven Startleistung ist es notwendig, spezielle Startverfahren einzusetzen, zum Beispiel Stern-/Dreieck-Start oder Sanftanlauf. Bei Verbrauchern mit einem hohen Anfahrmoment ist es manchmal erforderlich, Lastbänke einzusetzen, damit diese großen Verbraucher gestartet werden können. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Verbraucher der Kundenanlage zu überprüfen und die Lastzu- und Lastabschaltung während der Projektierung abzustimmen.

15.7 Schwarzstart

Wenn ein Gasaggregat "schwarz gestartet" wird, startet es ohne Hilfsantriebeversorgung für die Vorschmierung und die Kühlwasserpumpen. Das Gasaggregat startet direkt, nachdem im TEM der Anforderungskontakt geschlossen ist. Die Kühlwasserpumpen laufen an, sobald die Hilfsantriebeversorgung verfügbar ist. Des weiteren wird auf eine vorherige Dichtheitskontrolle der Gasregelstrecke verzichtet.
Der Schwarzstart ist eine Notfunktion der Gasaggregate und sollte nur für dringende Notfälle verwendet werden. Wegen des hohen Verschleißes des Gasmotors sollte diese Funktion nicht mehr als dreimal im Jahr eingesetzt werden.

Folgende Gasmotoren sind schwarzstartfähig:

- TCG 2016 V08 C / V12 C / V16 C
- TCG 2020 V12 / V16 / V20
- TCG 2020 V12K / V16K

Der Schwarzstart ist eine reine Funktion für den Inselbetrieb und im Netzparallelbetrieb nicht möglich.
Der TCG 2032 V12/V16 ist nicht schwarzstartfähig. Da diese Baureihe vor dem Start vorgeschmiert werden muss, wird eine Versorgung für die Hilfsantriebe benötigt, zum Beispiel durch einen Notstromdiesel oder eine USV.

15.8 Erdungssystem

Das Erdungssystem ist bei der Anlagenauslegung frühzeitig genau zu betrachten, d.h. es muss gemäß dem kundenseitigen Single-Line-Diagramm der Gesamtsanlage untersucht werden. Wegen der Komplexität einiger Anlagen muss das Erdungskonzept den individuellen Anforderungen angepasst werden. Der Aggregate-Hersteller bietet seinen Kunden die Zusammenarbeit während der Projektplanung an, um ein effektives vollständiges Konzept zu entwickeln.

15.9 Emissionen

Während des Inselbetriebs regelt das TEM-System die Abgasemissionen automatisch. Der typische Wert ist 500 mg NO_x/Nm^3 (bezogen auf 5% O_2, trocken) oder höher und kann von dem Inbetriebnehmer parametriert werden. Die höhere Anreicherung des Brenngas / Luft Gemisches bewirkt ein besseres Lastwechselverhalten des Gasmotors, hat jedoch einen höheren NO_x Wert zur Folge. Soll im Inselbetrieb der Emissionswert kleiner als 500 mg/Nm^3 sein, muss das Brenngas / Luft Gemisch magerer eingestellt werden. Die Laststufentabelle muss entsprechend angepasst werden (Kapitel 21). Die Stufenhöhe muss dadurch verringert werden, woraus resultiert, dass die Anzahl der Stufen von Leerlauf bis Volllast gesteigert wird.

15.10 Zusammenfassung

Um einen störungsfreien Inselbetrieb auslegen zu können, ist es wichtig, die Gesamtanlage und die Kundenanforderungen während der Projektierung zu analysieren. Aus diesem Grund ist es notwendig folgende Kundenunterlagen gemäß den Anforderungen des Gasmotors zu prüfen (zum Beispiel Laststufen):

- Single-Line-Diagramm der Gesamtanlage
- tatsächliche Startleistung und Startbedingungen von großen Verbrauchern
- Betriebsweise der Anlage

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 16

Lastzuschaltungen

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

16.	**Laststufen**	**3**
16.1	Bedingungen für Lastzuschaltung	3
16.2	Einflussgrößen für die Laststufen	3
16.3	Laststufen in Tabellenform	4
16.4	Laststufen als Diagramm	4

16. Laststufen

In den folgenden Tabellen und Diagrammen werden die Möglichkeiten der Lastaufnahme und des Lastabwurfs für die verschiedenen Motortypen dargestellt. Die Möglichkeit von Lastaufnahme hängt vom Motortyp und der wirksamen Motorlast ab.

16.1 Bedingungen für Lastzuschaltung

Die für die einzelnen Motorbaureihen in Tabellen und Diagrammen angegebenen Laststufen gelten generell für folgende Bedingungen:

- Abgasemission 500 mg NOx (stationär)
- Erdgasbetrieb
- betriebswarmer Motor
- ISO-Bedingungen
- Leitung vom Nulldruckregler der Gasregelstrecke bis zum Gasmischventil max. 1,5 m lang
- Mindestgasdruck vor der Nulldruckregelstrecke 100 mbar (bei Anlagenauslegung beachten)

Bei abweichenden Bedingungen verändern sich die Laststufen.
Bei der Zuschaltung von elektrischen Antrieben (Pumpen, Verdichter) muss neben der Nennleistung auch die Einschaltleistung berücksichtigt werden.

16.2 Einflussgrößen für die Laststufen

Folgende Betriebsparameter haben Einfluss auf die Höhe der Laststufen:

- Luftfilter, sauber / verschmutzt
- erhöhter Abgasgegendruck
- Heizwert des Brennstoffes
- Verschleißzustand des Motors
- Aufstellhöhe
- Ansaugtemperatur
- Emissionsanforderungen NOx

16.3 Laststufen in Tabellenform

Die erste Spalte in der Tabelle zeigt wie der Motor stufenweise vom unbelasteten Zustand bis zur 100%-Belastung belastet werden kann. Die zweite Spalte zeigt die notwendige Ausregelzeit zwischen den einzelnen Laststufen. Die angegebenen Ausregelzeiten entsprechen den Anforderungen der DIN ISO 8528 Teil 5. Die dritte Spalte zeigt den Drehzahleinbruch. Diese angegebenen Laststufen müssen in gleicher Weise beachtet werden, wenn der Motor entlastet wird.
Der Lastabwurf von einer beliebigen Last auf 0% Last ist im allgemeinen erlaubt.

Beispiel: Der Motortyp TCG 2016 C kann in der ersten Laststufe mit 25% belastet werden. In der zweiten sind es 17% und in der dritten Stufe sind es 13%. In der letzten Stufe sind es 7% (von 93% Last auf 100% Last). Zwischen den Laststufen benötigt der Motor 15 Sekunden zum Ausregeln.

16.4 Laststufen als Diagramm

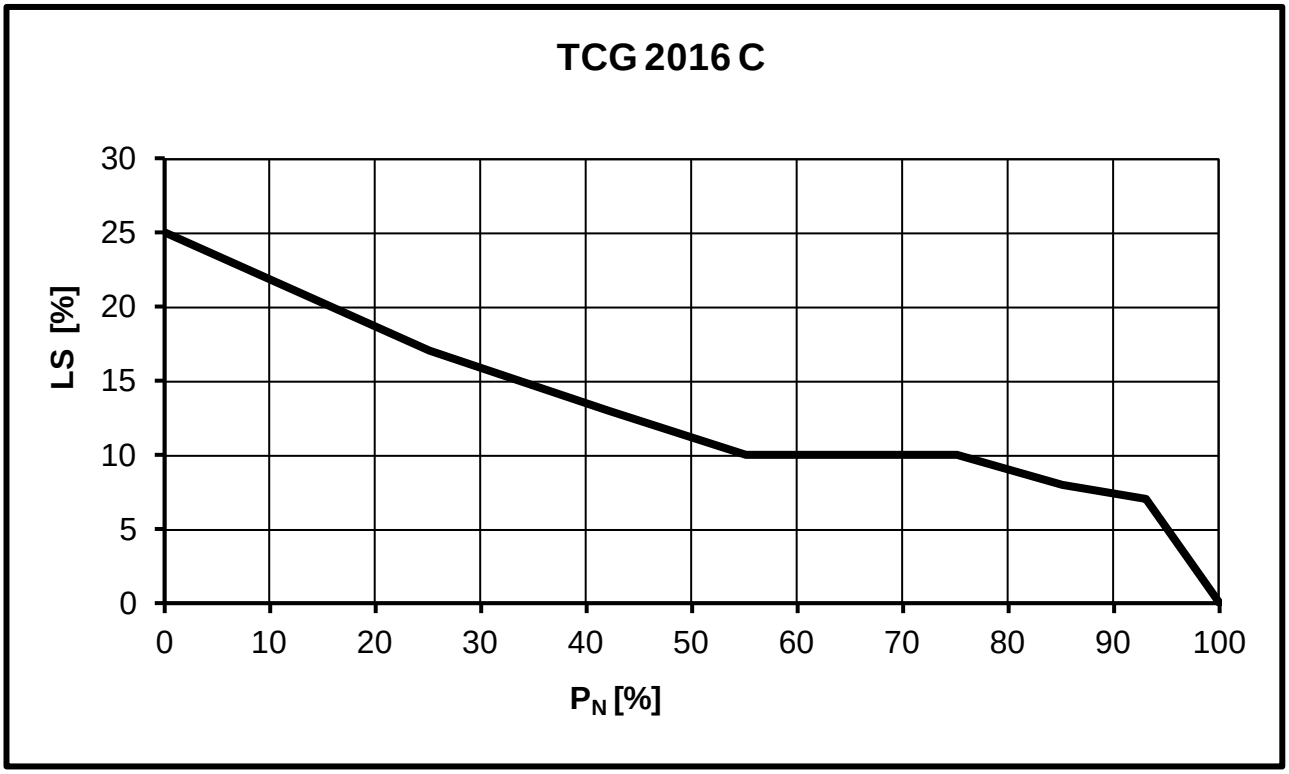
In den Diagrammen ist die zulässige Lastaufnahme der Motoren dargestellt. Auf der Abszisse ist die aktuelle Last der Motoren angegeben und auf der Ordinate ist die mögliche Lastzuschaltung bezogen auf die aktuelle Last angegeben. Wir betrachten noch einmal das schon oben aufgeführte Beispiel (TCG 2016 C). Das Diagramm zeigt eine fallende Kurve in dem Motorlastbereich zwischen 0% und 55%. In diesem Lastbereich nimmt die mögliche Lastzuschaltung mit steigender Motorleistung von 25% bis auf 10% ab. Im Lastbereich von 55% bis 75% beträgt die mögliche Lastzuschaltung 10%. Über 75% bis 100% nimmt die mögliche Lastzuschaltung weiter ab. Bei Erreichen von 100% Last ist keine weitere Lastzuschaltung möglich.

Laststufen für den TCG 2016 C

Bedingungen		
Luftansaugtemperatur		30 °C
GK-Eintrittstemperatur	Erdgas	40 °C
	Biogas	40 °C

Generatorträgheitsmoment	
TCG 2016 V08	≥ 13,1 kgm2
TCG 2016 V12	≥ 19,9 kgm2
TCG 2016 V16	≥ 26,0 kgm2

P_N [%]	$t_{f,in}$ [s]	n [%]
0 - 25	15	13
25 - 42	15	11
42 - 55	15	10
55 - 65	15	10
65 - 75	12	9
75 - 85	12	9
85 - 93	10	6
93 - 100	8	6



P_N	Aktuelle Last	$t_{f,in}$	Ausregelzeit
LS	Laststufe	n	Drehzahleinbruch

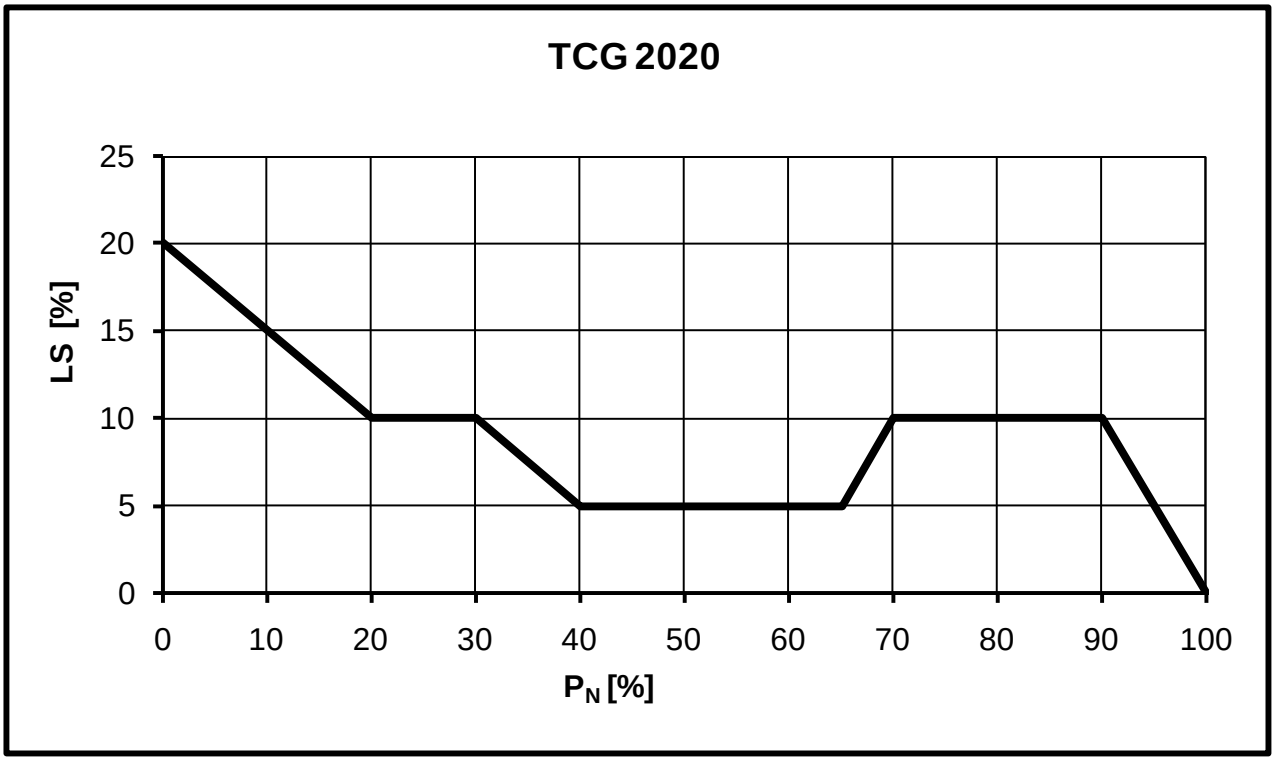
Laststufen für den TCG 2020

Bedingungen		
Luftansaugtemperatur		30 °C
GK-Eintrittstemperatur	Erdgas	40 °C
	Biogas	50 °C

Generatorträgheitsmoment	
TCG 2020 V12	≥ 44,6 kgm2
TCG 2020 V16	≥ 57,0 kgm2
TCG 2020 V20	≥ 95,0 kgm2

P_N [%]	$t_{f,in}$ [s]	n [%]
0 - 20	15	11
20 - 30	15	10
30 - 40	15	9
40 - 45	15	9
45 - 50	15	8
50 - 55	15	7

P_N [%]	$t_{f,in}$ [s]	n [%]
55 - 60	15	7
60 - 65	15	7
65 - 70	12	7
70 - 80	12	7
80 - 90	12	7
90 - 100	12	7



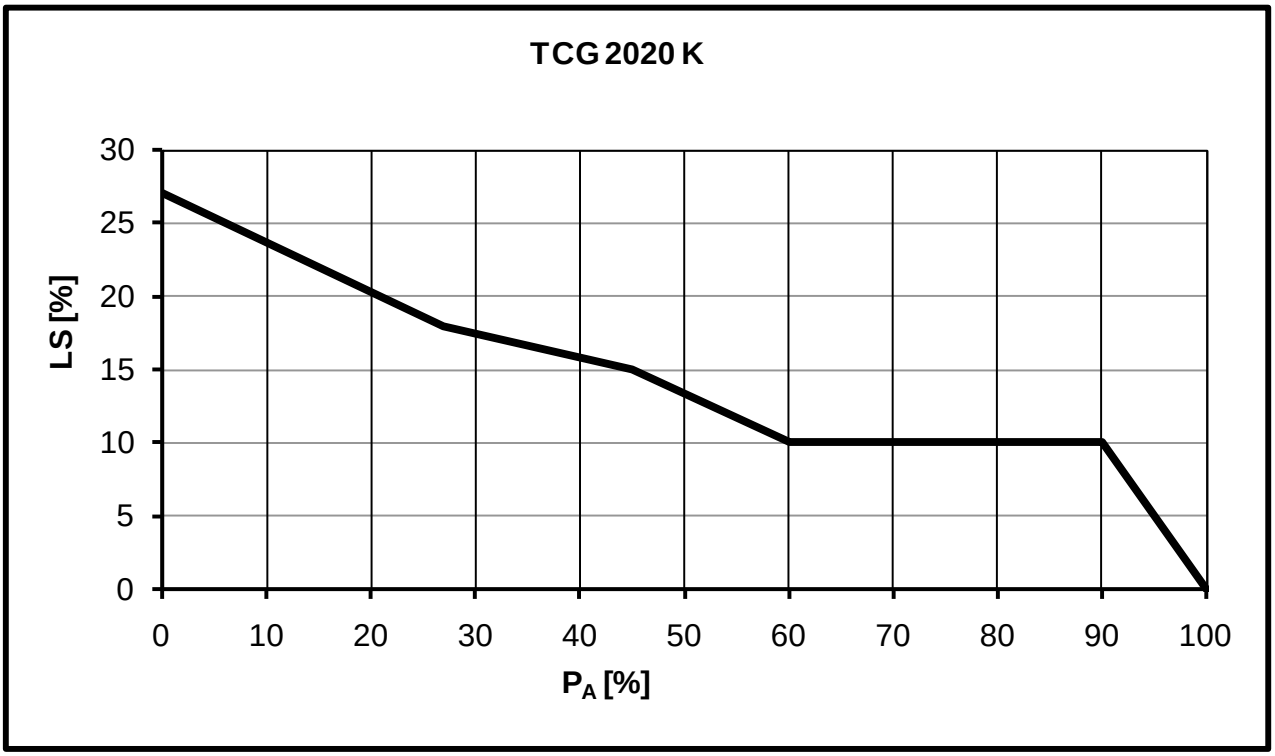
P_N	Aktuelle Last	$t_{f,in}$	Ausregelzeit
LS	Laststufe	n	Drehzahleinbruch

Laststufen für den TCG 2020 K

Bedingungen		
Luftansaugtemperatur		30 °C
GK-Eintrittstemperatur	Erdgas	40 °C

Generatorträgheitsmoment	
TCG 2020 V12K	≥ 44,6 kgm2
TCG 2020 V16K	≥ 57,0 kgm2

P_N [%]	$t_{f,in}$ [s]	n [%]
0 -27	15	10
27 - 45	15	9
45 - 60	15	8
60 - 70	15	8
70 - 80	15	5
80 - 90	15	4
90 - 100	15	4



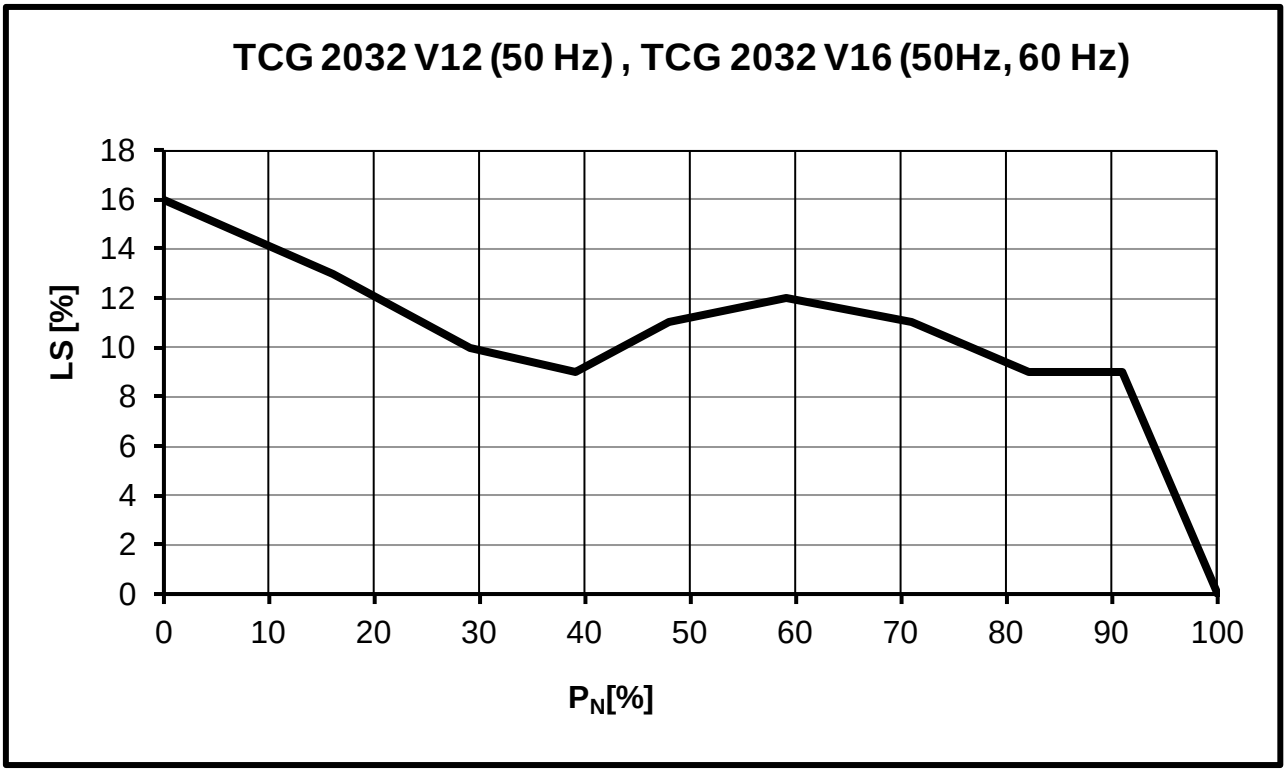
P_N	Aktuelle Last	$t_{f,in}$	Ausregelzeit
LS	Laststufe	n	Drehzahleinbruch

Laststufen für den TCG 2032 V12 (50 Hz) , TCG 2032 V16 (50Hz, 60 Hz)

Bedingungen		
Luftansaugtemperatur		25 °C
GK-Eintrittstemperatur	Erdgas	40 °C

Generatorträgheitsmoment	
TCG 2032 V12	≥ 550 kgm2
TCG 2032 V16	≥ 710 kgm2

P_N [%]	$t_{f,in}$ [s]	n [%]
0 -16	10	8
16 - 29	10	8
29 - 39	10	8
39 - 48	10	8
48- 59	10	8
59 - 71	10	8
71 - 82	10	8
82 - 91	10	8
91 - 100	10	8



P_N	Aktuelle Last	$t_{f,in}$	Ausregelzeit
LS	Laststufe	n	Drehzahleinbruch

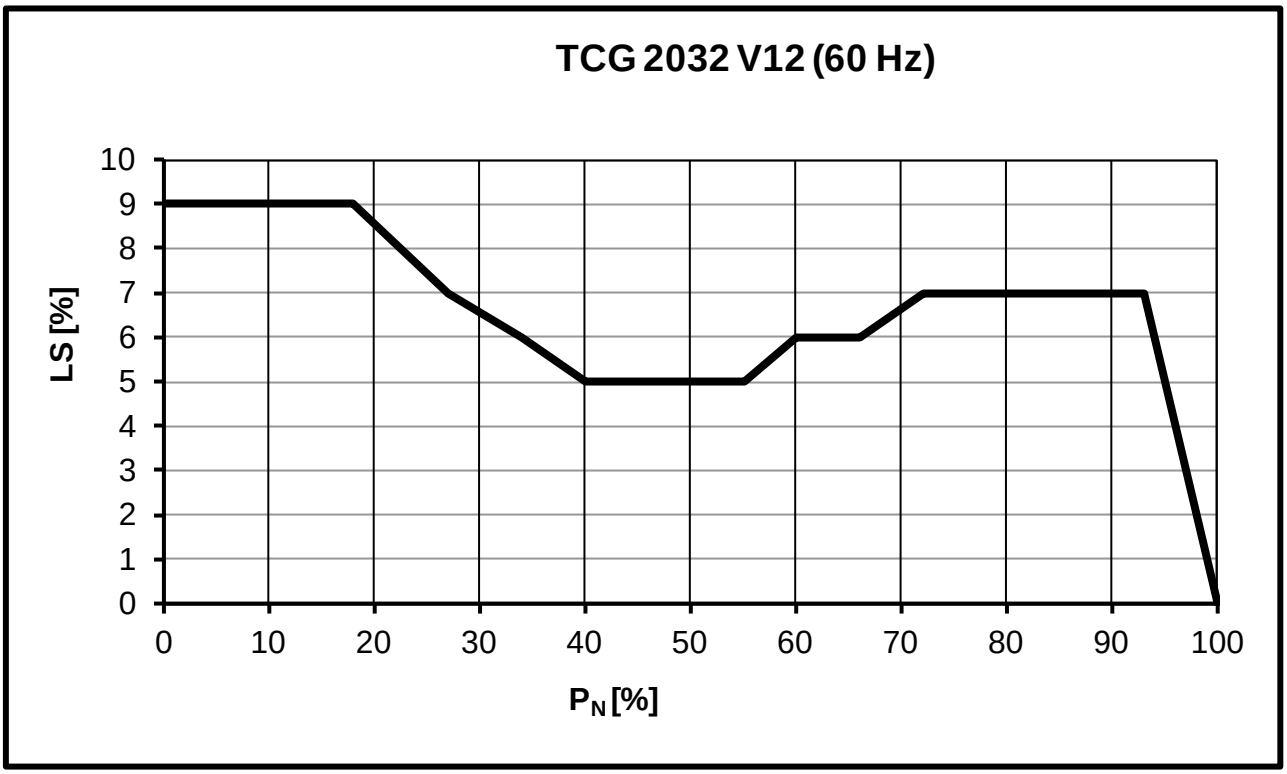
Laststufen für den TCG 2032 V12 (60 Hz)

Bedingungen		
Luftansaugtemperatur		25 °C
GK-Eintrittstemperatur	Erdgas	40 °C

Generatorträgheitsmoment	
TCG 2032 V12	≥ 520 kgm2

P_N [%]	$t_{f,in}$ [s]	n [%]
0 -9	15	5
9 - 18	15	5
18 - 27	15	5
27 - 34	15	5
34 - 40	15	5
40 - 45	15	5
45 - 50	15	5
50 - 55	15	5
55 - 60	15	8

P_N [%]	$t_{f,in}$ [s]	n [%]
60 - 66	15	5
66 - 72	15	5
72 - 79	15	5
79 - 86	15	5
86 - 93	15	5
93 - 100	15	5



P_N	Aktuelle Last	$t_{f,in}$	Ausregelzeit
LS	Laststufe	n	Drehzahleinbruch

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 17

Verkabelung

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

17.	**Verkabelung**	**3**
17.1	Sicherheitsanforderungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen	8
17.1.1	Grundsätzliche Anforderungen	8
17.1.2	Allgemeine Anforderungen	8
17.1.3	Belastbarkeit im ungestörten Betrieb	8
17.1.4	Betriebsart	9
17.1.5	Umgebungsbedingungen	9
17.1.6	Bedingungen und Anforderungen bei fester Verlegung	9
17.1.7	Anforderungen an flexible Leitungen	10
17.2	Grenzbedingungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen	10
17.2.1	Betriebsbedingungen	10
17.2.2	Spannung	11
17.2.3	Strombelastbarkeit	11
17.2.4	Thermische Einflüsse	12
17.2.5	Mechanische Einflüsse	12
17.2.5.1	Zugbeanspruchung	12
17.2.5.2	Biegebeanspruchung	12
17.2.5.3	Druckbeanspruchung	13
17.2.5.4	Torsionsbeanspruchung	13
17.2.6	Raumarten	13
17.2.7	Anwendungsarten und Beanspruchungen	13
17.2.8	Einteilung der Beanspruchung	14
17.2.8.1	Anwendung in Innenräumen	14
17.2.8.2	Dauereinsatz im Freien	14
17.3	Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV	14
17.3.1	EMV- Anweisungen bei dem Einsatz von Frequenzumrichtern	15
17.3.2	Kabelkanäle	15
17.3.3	Kabelverschraubungen	15
17.4	Beispiele für die Kabelverlegung	16

17. Verkabelung

Die Verkabelung einer BHKW-Anlage besteht aus Leistungskabeln, Versorgungsleitungen für die Hilfsantriebe, Steuerkabeln und Signalleitungen. Leistungskabel, Versorgungsleitungen für die Hilfsantriebe, Steuerkabel und Signalleitungen müssen getrennt verlegt werden.

Es sind flexible, ölbeständige und feindrahtige Steuerleitungen zu verwenden (z.B. H05VV5-F). Signalübertragungsleitungen müssen zusätzlich abgeschirmt sein (Schirm aus verzinntem Kupfergeflecht mit mindestens 85 % Bedeckung wie z.B. H05VVC4V5-K, keine Aluminiumfolie).

Für die Versorgungsleitungen der Hilfsantriebe sind flexible, ölbeständige und feindrahtige Motoranschlussleitungen zu verlegen(z.B. H05VV5-F).

Kabel die ins Freie verlegt werden, müssen für die Verlegung im Freien geeignet sein (witterungsbeständig, UV- beständig, z.B. ÖLFLEX ROBUST 215C).

Die Versorgungsleitungen für frequenzgeregelte Antriebe müssen zusätzlich abgeschirmt sein (z.B.TOPFLEX EMV-UV-2YSLCYK-J). Bei frequenzgeregelten Antrieben darf die Leitungslänge in der Summe 100m nicht überschreiten.

Für die Generatorleistungskabel sind mehrdrahtige (ab 25 mm^2) Starkstromkabel aus Kupfer zu verwenden, (z.B. NSGAFÖU für Niederspannung und N2XSY für Mittelspannung). Einadrige Leistungskabel im Drehstromsystem sind gemäß Abbildung 17.1a und 17.1b zu verlegen. Die am Generator ankommenden Kabel sollten entweder unterhalb oder oberhalb der Klemmenkastenhöhe und in ausreichendem Abstand von der Mittellinie des Generators befestigt werden, um einen zu engen Radius am Eintrittspunkt in die Klemmenkastenwand zu vermeiden und eine Bewegung des Aggregates auf seinen Schwingungsdämpfern zuzulassen, ohne dass eine übermäßige mechanische Belastung auf das Kabel übertragen wird.

Zum Schutz vor Überlast und Kurzschluss sind für Leitungen Leitungsschutzschalter nach DIN VDE 0641 bzw. DIN EN 60898 und für Motoren Leistungsschalter nach DIN EN 60947-2 / IEC 947-4 vorzusehen. Als Basis für die Kabelauslegung ist immer die gültige DIN VDE 0100 anzuwenden. Die Kabelführung muss in entsprechenden Installationskanälen bzw. Kabelträgersystemen erfolgen. Die Kabel müssen so verlegt werden, dass ein Verletzen des Kabelmantels ausgeschlossen ist. Darauf ist besonders zu achten, wenn Kabel auf ein Kabelträgersystem geführt werden. Das heißt, es muss ein ausreichender Kantenschutz vorgesehen werden. Kabel sind grundsätzlich so zu fixieren/ haltern, dass eine Zugbeanspruchung der Klemmen ausgeschlossen ist (Zugentlastung).

Bei der Kabelverlegung sind die Maßnahmen zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit zu beachten (siehe Kapitel 17.3).

Kabelverschraubungen mit integrierter Zugentlastung sind einzusetzen. Die Größenauswahl muss entsprechend den Kabelaußendurchmessern erfolgen.

Abb. 17.1a:

Einadrige Kabel im Drehstromsystem, nebeneinander liegend mit Zwischenraum gleich Kabeldurchmesser (Verlegung in Luft)

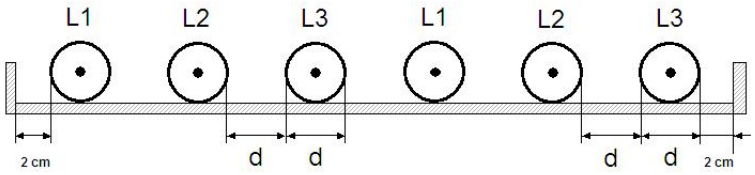
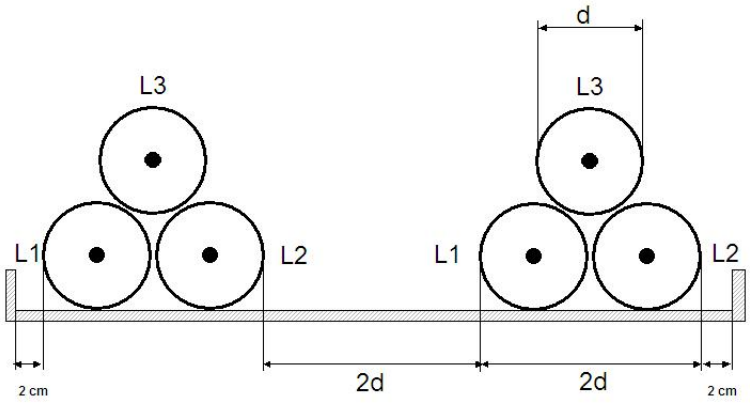


Abb. 17.1b:

Einadrige Kabel im Drehstromsystem mit Dreieckverlegung (Verlegung in Luft)



Bei der Auswahl und dem Verlegen von Leitungen müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Vermeidung möglicher mechanischer oder elektrischer Beeinflussung zwischen benachbarten Stromkreisen.
- Wärmeabgabe von Leitungen oder die chemisch/ physikalischen Einflüsse der Leitungswerkstoffe auf angrenzende Werkstoffe wie z.B. auf Konstruktions- und Dekorationsmaterialien, Isolierrohre, Befestigungsmittel.
- Beachtet werden muss auch der Einfluss der Stromwärme auf die Werkstoffe der Leiter, Verbindungen und Anschlüsse.
- Kruzschlusssichere Verlegung

  Um eine kurzschlusssichere Verlegung zu gewährleisten, müssen die Kabel alle 0,5 Meter mit fünf Bandagen Kabelbündelband umwickelt werden. Alle 1,5 bis 2 Meter sollten die Kabel bzw. Kabelbündel mit Kabelschellen an den Kabelleitern bzw. Kabelwannen befestigt werden.

- Schutzleiter
  Der Schuzleiter (PE) wird am Generatorgehäuse, an den dafür vorgesehenen Bohrungen an den Generatorfüßen angeschlossen und auf den PE in der Schaltanlage gelegt. Die Leitung wird parallel zu den Leistungskabeln verlegt.
  Die Empfehlung für den Querschnitt dieser Leitung lautet für Niederspannung:
  TCG 2016: 240 mm² TCG 2020: 300 mm²
  Eine Auslegung nach VDE 0100 ergibt geringere Querschnitte. Die angegebenen Querschnitte gelten für Kupferleiter.
- Schutzpotentialausgleich
  Der schutzpotentialausgleich ist notwendig, um die Berührungsspannung unter der Grenze von 50 V zu halten.
  Alle metallischen Gegenstände sind mit einem Schutzpotentialausgleich auszustatten.
  Das Generatorgehäuse wird über Kupferband (70 mm²) mit dem Grundrahmen verbunden. Der Grundrahmen, Motor, usw. werden jeweils mit einer Kupferleitung (min. 70 mm²) an den Hauptpotentialausgleich angeschlossen.

Eine Zusammenstellung der entsprechenden Normen und VDE-Vorschriften zeigt
Tabelle 17.1.

Tabelle 17.1

Auszug der zu betrachtenden Normen:

Energieanlagen

DIN VDE 0100	Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V
DIN VDE 0100 Teil 100	Allgemeine Anforderungen, Anwendungsbereich
DIN VDE 0100 Teil 410	Schutzmaßnahmen; Schutz gegen gefährliche Körperströme
DIN VDE 0100 Teil 430	Schutz von Kabeln und Leitungen bei Überstrom
Beiblatt 1 zu Teil 430	Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit
DIN VDE 0100 Teil 482	Auswahl von Schutzmaßnahmen-Brandschutz
DIN VDE 0100 Teil 520/Teil 530	Errichtung elektrischer Betriebsmittel-Kabel, Leitungen und Stromschienen
	Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte
DIN VDE 0100 Teil 559	Leuchten und Beleuchtungsanlagen
DIN VDE 0100 Teil 720	Feuergefährdete Betriebsstätten
DIN VDE 0100 Teil 726 bis Teil 738	Hebezeuge
DIN VDE 0101	Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV
DIN VDE 0105	Betrieb von Starkstromanlagen
DIN VDE 0107	Starkstromanlagen in Krankenhäusern und medizinisch benutzten Räumen außerhalb von Krankenhäusern
DIN VDE 0108 Teil 1 bis Teil 100	Errichten und Betreiben von Starkstromanlagen und Sicherheits-
	stromversorgung in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen,
	Versammlungsstätten, Geschäftshäusern und Ausstellungsstätten,
	Hochhäusern, Gaststätten, Großgaragen und Arbeitsstätten
DIN VDE 0165	Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
DIN VDE 0166	Elektrische Anlagen und deren Betriebsmittel in explosivstoffgefährdeten Bereichen
DIN VDE 0170/0171	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche
DIN VDE 0185	Blitzschutzanlagen, Gebäudeblitzschutz
DIN VDE 0207 Teil 1 bis Teil 24	Isolier- und Mantelmischungen für Kabel- und isolierte Leitungen
DIN VDE 0245 Teil 1	Leitungen für elektrische und elektronische Betriebsmittel in Starkstromanlagen
DIN VDE 0245 Teil 101 bis Teil 202	PVC-Steuerleitungen
DIN VDE 0250 Teil 1 bis Teil 819	Isolierte Starkstromleitungen
DIN VDE 0253	Isolierte Heizleitungen

Energieleiter

DIN VDE 0262	Installationskabel mit Isolierung aus vernetztem Polyethylen und Mantel aus thermoplastischem PVC bis 0,6/1 kV
DIN VDE 0265	Kabel mit Kunststoffisolierung und Bleimantel für Starkstromanlagen
DIN VDE 0267	Halogenfreie Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall; Nennspannung von 6 bis 30 kV
DIN VDE 0271	Starkstromkabel mit Isolierung und Mantel aus thermoplastischem PVC mit Nennspannungen bis 3,6 / 6 (7,2) kV
DIN VDE 0276 Teil 603	Starkstromkabel mit Nennspannungen 0,6 / 1 kV
DIN VDE 0276 Teil 604	Starkstromkabel mit Nennspannungen 0,6 / 1 kV mit verbessertem Verhalten im Brandfall für Kraftwerke
DIN VDE 0276 Teil 604/605	Ergänzende Prüfverfahren
DIN VDE 0276 Teil 620	Energieverteilungskabel für Nennspannungen 3,6 kV bis 20,8/36 kV
DIN VDE 0276 Teil 1000	Strombelastbarkeit, Allgemeines; Umrechnungsfaktoren
DIN VDE 0276 Teil 1001	Prüfungen an verlegten Kabeln für 6/10 kV bis 18/30 kV
DIN VDE 0281 Teil 1 bis Teil 404	PVC-isolierte Starkstromleitung
DIN VDE 0282 Teil 1 bis Teil 808	Gummi-isolierte Starkstromleitungen: Wärmebeständige Gummi- und Silicon-Aderleitung, halogenfreie Aderleitung, Schweißleitung, gummi-isolierte Aufzugs-Steuerleitung, Gummischlauchleitungen
DIN VDE 0284	Mineralisolierte Leitungen bis 750 V
DIN VDE 0289 Teil 1 bis Teil 101	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen
DIN VDE 0292	Kurzzeichen für harmonisierte Kabel und Leitungen für Starkstromanlagen
DIN VDE 0293	Aderkennzeichnungen von Starkstromkabeln und isolierten Starkstromleitungen bis 1000 V
DIN VDE 0295	Leiter für Kabel und isolierte Leitungen für Starkstromanlagen
DIN VDE 0298 Teil 1 bis Teil 300	Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen, empfohlene Strombelastbarkeiten

Prüfen, Messen

DIN VDE 0472 Teil 1 bis Teil 818	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen
DIN VDE 0473 bis Teil 811	Allgem. Prüfverfahren für Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und Leitungen
DIN VDE 0482 bis Teil 268	Messung der Rauchdichte von Kabeln und Leitungen

Fernmelde-, Schalt- und Installationskabel

DIN VDE 0811	Flachleitungen mit runden Leitern, Rastermaß 1,27 mm
DIN VDE 0812	Schaltdrähte und Schaltlitzen mit PVC-Isolierhüllen
DIN VDE 0839	Elektromagnetische Verträglichkeit
DIN VDE 0881	Schaltdrähte und Schaltlitzen mit erweitertem Temperaturbereich
DIN VDE 0891 Teil 1 bis Teil 10	Besondere Bestimmungen und Richtlinien von Kabeln und isolierten Leitungen
DIN VDE 0899 Teil 1 bis Teil 5	Besondere Bestimmungen für Lichtwellenleiter, Einzelader, Innen- und Außenkabel

17.1 Sicherheitsanforderungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen

17.1.1 Grundsätzliche Anforderungen

Bei bestimmungsgemäßer Verwendung sind Kabel und Leitungen als sicher anzusehen, sie stellen kein unannehmbares Risiko für Leben und Sachwerte dar. Sofern nichts anderweitig festgelegt ist, dürfen isolierte Kabel und Leitungen nur zu Fortleitung und Verteilung elektrischer Energie verwendet werden.

17.1.2 Allgemeine Anforderungen

Leitungen müssen so ausgewählt werden, dass sie den auftretenden Spannungen und Strömen, die in einem Betriebsmittel, einer Anlage oder deren Teilen, in denen sie eingesetzt sind, in allen zu erwartenden Betriebszuständen genügen, Leitungen müssen so aufgebaut, installiert, geschützt, eingesetzt und instand gehalten werden, dass Gefahren soweit wie möglich vermieden werden.

17.1.3 Belastbarkeit im ungestörten Betrieb

Der Leiterquerschnitt ist so zu wählen, dass für die vorgegebene Belastung der Leiter an keiner Stelle und zu keinem Zeitpunkt über die zulässige Betriebstemperatur erwärmt wird. Die Erwärmung bzw. Belastbarkeit eines Kabels oder einer Leitung ist vom Aufbau, den Werkstoffeigenschaften und den Betriebsbedingungen abhängig.

Eine zusätzliche Erwärmung bei Häufung mit anderen Kabeln oder Leitungen durch Heizkanäle, durch Sonneneinstrahlung usw. ist zu berücksichtigen bzw. zu verhindern. Werden Abdeckungen verwendet, so ist auf eine ungestörte Luftzirkulation zu achten.

17.1.4 Betriebsart

Durch die Betriebsart wird der zeitliche Verlauf des Stromes beschrieben. Der Dauerbetrieb ist ein Betrieb mit konstantem Strom, dessen Dauer zumindest ausreicht, den thermischen Beharrungszustand des Betriebsmittels zu erreichen, sonst aber zeitlich nicht begrenzt ist. Den Größen für die Belastbarkeit der Kabel und Leitungen liegt Dauerbetrieb zugrunde, wobei die zulässige Betriebstemperatur am Leiter erreicht wird.

17.1.5 Umgebungsbedingungen

Umgebungsbedingungen sind unter anderem durch Umgebungstemperatur, Verlustwärme und Wärmestrahlung gekennzeichnet. Die Umgebungstemperatur ist die Temperatur der umgebenen Luft, wenn das betrachtete Kabel oder die betrachtete Leitung nicht belastet ist. Bezug ist hierbei eine Temperatur von + 30°C.
Die Betriebsbedingungen von Kabeln und Leitungen ändern sich gegebenenfalls sowohl bei Verlustwärme beispielsweise in geschlossenen Räumen, Kabelzwischenböden o.ä. als auch bei Wärmestrahlung z.B. durch Sonneneinwirkung.

17.1.6 Bedingungen und Anforderungen bei fester Verlegung

Anforderungen an Leitungen für feste Verlegung sind u.a.:

- Leitungen dürfen nicht in Kontakt mit heißen Oberflächen oder in deren unmittelbaren Nähe verlegt werden, es sei denn, dass sie hierfür geeignet sind.
- Leitungen dürfen nicht direkt ins Erdreich verlegt werden.
- Leitungen müssen in geeigneter Weise befestigt werden. Bei der Wahl der Befestigungsabstände soll das Gewicht der Leitung beachtet werden.
- Die Leitung darf durch die jeweils verwendeten mechanischen Befestigungsmittel nicht beschädigt werden.
- Leitungen, die schon über längere Zeit betrieben worden sind, können bei Änderung der Verlegung beschädigt werden. Dies ist durch die natürliche Auswirkung der Alterung auf die physikalischen Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe für Isolierhülle und Mantel bedingt. Dieser Vorgang wird durch höhere Temperaturen beschleunigt.

17.1.7 Anforderungen an flexible Leitungen

- Die Länge der Anschlussleitung muss so gewählt werden, dass das Ansprechen der Kurzschluss-Schutzeinrichtungen sichergestellt ist.
- Die Leitungen sollen keinen überhöhten Beanspruchungen durch Zug, Druck, Abrieb, Verdrehen oder Knicken ausgesetzt werden.
- Zugentlastungen oder Anschlussmittel dürfen sie nicht beschädigen.
- Die Leitungen dürfen nicht unter Abdeckungen oder anderen Betriebsmitteln verlegt werden. Es besteht die Gefahr, dass sich die Kabel zu stark erwärmen und mechanisch beschädigt werden
- Die Leitungen dürfen nicht in Kontakt mit heißen Oberflächen oder in unmittelbarer Nähe davon verlegt werden.
- Die minimalen Biegeradien sind zu beachten.

17.2 Grenzbedingungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen

17.2.1 Betriebsbedingungen

Leitungen müssen so ausgewählt werden, dass sie für die Betriebsbedingungen und die jeweilige Geräteschutzklasse geeignet sind.

Zu den Betriebsbedingungen zählen u.a.:

- Spannung
- Strom
- Schutzvorkehrungen
- Häufung der Leitungen
- Art der Verlegung
- Zugänglichkeit

Leitungen müssen so ausgewählt werden, dass sie für alle äußeren Einflüsse geeignet sind, die auftreten können.

Zu den äußeren Einflüssen gehören u.a.:

- Umgebungstemperatur
- Regen
- Wasserdampf, oder Ansammlung von Wasser
- Anwesenheit korrosiver, verunreinigender oder anderer chemischer Substanzen
- mechanische Beanspruchungen (z.B. scharfe Kanten von Metallkonstruktionen)
- Tierwelt (z.B. Nagetiere)
- Pflanzenwelt (z.B. Schimmelpilze)
- Strahlung (z.B. Sonnenlicht)

Anmerkung: In diesem Zusammenhang sollte beachtet werden, dass die Farbe von großer Bedeutung ist, und die Farbe „schwarz“ einen höheren Schutz gegen Sonneneinstrahlung (große Beständigkeit bei UV-Strahlung) bietet als andere Farben.

17.2.2 Spannung

Die Nennspannung einer Leitung ist die Spannung, für die die Leitung konstruiert ist und dient zur Definition der elektrischen Prüfungen. Die Nennspannung wird mit zwei Werten U_o/U in Volt angegeben, hierbei ist: U_o der Effektivwert der Spannung zwischen einem Außenleiter und Erde (metallene Umhüllung der Leitung oder umgebendes Medium). U der Effektivwert der Spannung zwischen zwei Außenleitern einer mehradrigen Leitung oder eines System einadriger Leitungen. In einem Wechselspannungssystem muss die Nennspannung einer Leitung mindestens den Werten für U_o und U des Systems entsprechen.

17.2.3 Strombelastbarkeit

Der Nennquerschnitt eines jeden Leiters muss so gewählt werden, dass seine Strombelastbarkeit nicht kleiner ist als der maximale Dauerstrom, der unter Normalbedingungen durch den Leiter fließt. Die Grenztemperaturen, auf die sich die Strombelastbarkeit bezieht, dürfen für Isolierhülle und Mantel der jeweiligen Leitungstypen nicht überschritten werden. Zu den definierten Bedingungen gehört auch die Verlegart der verwendeten Leitung. Hierauf sollte bei der Bestimmung der zulässigen Belastungsströme geachtet werden.
Zu berücksichtigende Bedingungen sind u.a.:

- Umgebungstemperatur
- Häufung der Leitungen
- Art des Überstromschutzes
- wärmedämmende Isolierung
- aufgerollte, aufgespulte Leitungen (sind zu vermeiden)
- Frequenz des Stromes (von 50 Hz abweichend)
- Auswirkungen von Oberwellen.

Der Leiterquerschnitt darf nicht nur nach der erforderlichen Strombelastbarkeit ausgesucht werden (DIN VDE 0298-4). Vielmehr sind auch die Anforderungen zum Schutz gegen gefährliche Körperströme, Überlast- und Kurzschlussströme und Spannungsfall zu beachten. Werden Leitungen über längere Zeiten bei Temperaturen über den angegebenen Werten betrieben, können sie schweren Schaden erleiden, der zu frühzeitigem Ausfall, zu einer wesentlichen Verschlechterung der Eigenschaften und zu lebensbedrohlichen Situationen führen kann.

17.2.4 Thermische Einflüsse

Leitungen müssen so gewählt, verlegt und installiert werden, dass die zu erwartende Stromwärmeabgabe nicht behindert wird und Brandrisiken für angrenzende Werkstoffe nicht entstehen. Die Grenztemperaturen der einzelnen Leitungsbauarten werden vom Hersteller angegeben. Die angegebenen Werte dürfen in keinem Fall durch das Zusammenwirken von innerer Stromwärme und Umgebungsbedingungen überschritten werden. Typischer Temperatur-Bereich von Standard-Kabel bei fester Verlegung ist von -40°C bis +80°C. Falls höhere Temperaturen auftreten, sind wärmebeständigere Kabel einzusetzen.

17.2.5 Mechanische Einflüsse

Bei der Abschätzung der Risiken einer mechanischen Beschädigung von Leitungen müssen alle mechanischen Beanspruchungen die auftreten können, berücksichtigt werden:

17.2.5.1 Zugbeanspruchung

Die für die Kabel vorgegebenen Werte für die Zugbeanspruchung dürfen nicht überschritten werden. Typische Werte dafür sind 50 N/mm² bei der Montage von Leitungen für feste Verlegung und 15 N/mm² bei flexiblen Leitungen. Bei den Fällen, in denen die oben genannten Werte überschritten werden, wird empfohlen, ein separates Zugentlastungselement oder dergleichen einzusetzen. Die Verbindung eines derartigen Zugentlastungselementes mit der Leitung soll so vorgenommen werden, dass die Leitung nicht beschädigt wird.

17.2.5.2 Biegebeanspruchung

Der innere Biegeradius einer Leitung muss so gewählt werden, dass Beschädigungen der Leitung vermieden werden. Die inneren Biegeradien für die unterschiedlichen Leitungsbauarten für Steuerleitungen liegen bei ca. 10 x Leitungsdurchmesser (je nach Kabeltyp und Hersteller) und für Leistungskabel bei ca. 15 x Kabeldurchmesser. Der min. Biegeradius ist für die eingesetzten Leitungen/Kabel jeweils zu prüfen.
Beim Abisolieren ist darauf zu achten, dass der Leiter nicht beschädigt wird, da sonst das Biegeverhalten ernsthaft verschlechtert wird.
Die angegebenen Biegeradien gelten für Umgebungstemperaturen von 20°C (± 10 K). Für andere Umgebungstemperaturen sind die Vorgaben des Herstellers zu beachten.
Biegungen in unmittelbarer Nähe von externen oder internen Befestigungspunkten sind zu vermeiden.

17.2.5.3 Druckbeanspruchung

Leitungen dürfen nicht so stark auf Druck beansprucht werden, dass sie beschädigt werden.

17.2.5.4 Torsionsbeanspruchung

Flexible Leitungen sind im allgemeinen nicht für Torsionsbeanspruchung bestimmt. In den Fällen, in denen derartige Torsionsbeanspruchungen nicht zu vermeiden sind, muss dies mit dem Kabelhersteller im Einzelfall geklärt werden.

17.2.6 Raumarten

Elektrische Betriebsstätten sind Räume oder Orte, die im Wesentlichen zum Betrieb elektrischer Anlagen dienen und in der Regel nur von unterwiesenen Personen betreten werden, z.B. Schalträume.
Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten sind Räume oder Orte, die ausschließlich zum Betrieb elektrischer Anlagen dienen und unter Verschluss gehalten werden. Der Zutritt ist nur unterwiesenen Personen gestattet, z.B. abgeschlossenen Schalt- und Verteilungsanlagen.
Trockene Räume sind Räume oder Orte, in denen in der Regel kein Kondenswasser auftritt oder in denen die Luft nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist.
Feuchte und nasse Räume sind Räume oder Orte, in denen die Sicherheit der Betriebsmittel durch Feuchtigkeit, Kondenswasser, chemische oder ähnliche Einflüsse beeinträchtigt werden.
Allgemeine Anmerkungen:
Räume können in eine der zuvor aufgeführten Raumarten häufig nur nach genauer Kenntnis der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse eingeordnet werden. Wenn z.B. in einem Raum nur an einer bestimmten Stelle hohe Feuchtigkeit auftritt, der Raum aber infolge regelmäßiger Lüftung trocken ist, so braucht nicht der gesamte Raum als feuchter Raum zu gelten.
Da in BHKW-Anlagen Öl- und Wasser-Undichtigkeiten nicht ausgeschlossen werden können, sind ölbeständige und chemisch beständige Kabel einzusetzen.

17.2.7 Anwendungsarten und Beanspruchungen

Die Einteilung der Leitungen erfolgt in folgende Anwendungsarten:

- Kabel für die Anwendung in Innenräumen z.B. BHKW-Raum
- Kabel für die Anwendung im Freien z.B. Zuleitung für Tischkühler

17.2.8 Einteilung der Beanspruchung

Der Begriff „Beanspruchung“ beschreibt die Verwendbarkeit einer Leitung in bestimmten Bereichen, an oder in einem Betriebsmittel, und für bestimmte Kombinationen äußerer Einflüsse, die in diesen Bereichen vorkommen.
Die Einteilung der Leitungen bezüglich der Beanspruchung erfolgt in vier Kategorien:

- Sehr leichte Beanspruchung z.B. Rechenanlagen
- Leichte Beanspruchung z.B. Klimatechnik, Datenverarbeitung
- Normale Beanspruchung z.B. Maschinenbau, BHKW, Anlagenbau
- Schwere Beanspruchung z.B. Bergbau

17.2.8.1 Anwendung in Innenräumen

Die Leitung ist installiert oder an einem Gerät angeschlossen, das sich auf Dauer in einem Gebäude befindet, nämlich innerhalb „der vorgesehenen Umgebung“. Das Gebäude kann für Geschäfts-, Wohnzwecke oder industriell genutzt werden.

17.2.8.2 Dauereinsatz im Freien

Die Leitung ist für die unterschiedlichsten Beanspruchungen, die im Freien, der „vorgesehenen Umgebung“, (einschließlich Witterung) auftreten können, konstruiert.

17.3 Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV

Die Leitungsführung trägt einen wesentlichen Teil zur EMV einer Anlage bei. Die Leitungen sind in vier Gruppen einzustufen:

-Gruppe I: Sehr störempfindlich (analoge Signale, Messleitungen)
-Gruppe II: Störempfindlich (digitale Signale, Sensorkabel, 24VDC- Schaltsignale)
-Gruppe III: Störquelle (Steuerkabel für ind. Lasten, ungeschaltete Leistungskabel)
-Gruppe IV: Starke Störquelle (Ausgangskabel von Frequenzumrichtern, geschaltete Leistungskabel)

Bei der Kabelverlegung sind Kreuzungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei nicht vermeidbaren Kreuzungen sind die Leitungen der verschiedenen Gruppen rechtwinklig zu kreuzen.

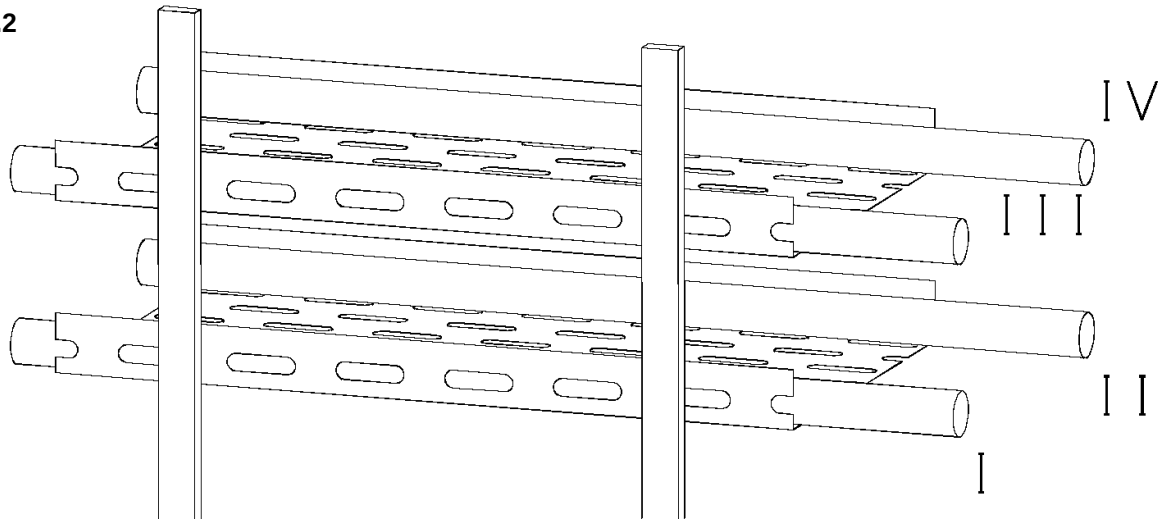
17.3.1 EMV- Anweisungen bei dem Einsatz von Frequenzumrichtern

Je nach EMV- Anforderung (Umweltklasse 1 oder 2) und Typ des Frequenzumrichters sind EMV- Filter erforderlich.
Die Verkabelungs- und EMV- Hinweise in der Betriebsanleitung sind auf jeden Fall zu beachten.

17.3.2 Kabelkanäle

- Metallische Kabelkanäle ins Erdnetz einbeziehen und durchgehend verbinden
- Verminderung des Magnetfeldes durch Abstand der Kabelwannen (Abb.17.2)
- Leitungen in verschiedenen Kabelkanälen verlegen
- Leitungen durch metallischen Trennsteg trennen

Abb.17.2



Der empfohlene Mindestabstand zwischen den Kabelwannen ist 0,15 m. Die Wannen sollten elektrisch mit den vertikalen Trägern verbunden sein. Der Kabelkanal für die Signalübertragungsleitungen sollte abgedeckt werden.
Generatorleistungskabel sind grundsätzlich separat zu verlegen. Bei den Leistungskabeln ist darauf zu achten, dass die Verlegeart einen großen Einfluss auf die Stromtragfähigkeit der Leitung hat. Hier sind die Korrekturfaktoren in den Normen zu beachten. Die Norm VDE 0298 schreibt bei der Verlegung von Kabeln auf Kabelleitern einen Abstand von 0,3 Meter zwischen den Kabelleitern und zur Decke vor.

17.3.3 Kabelverschraubungen

Bei besonderen EMV-Anforderungen sind EMV-gerechte Kabelverschraubungen für abgeschirmte Kabel zu verwenden. Generell sollten verchromte Messingverschraubungen eingesetzt werden.

17.4 Beispiele für die Kabelverlegung

Abb. 17.3

zeigt eine Verlegung der Anlasserkabel. Die Kabel sind symmetrisch verlegt und mit Kabelschellen fixiert. Dadurch ist eine Beschädigung durch Scheuern ausgeschlossen.

richtig

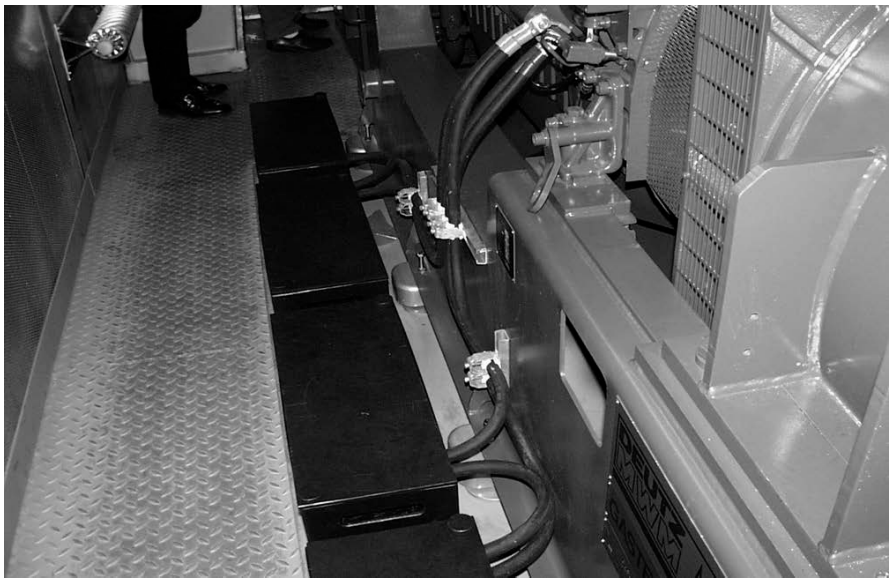


Abb. 17.4

Zeigt ein Anlasserkabel, das mangelhaft installiert ist.

Scheuergefahr! Kurzschlussgefahr möglich!!

falsch

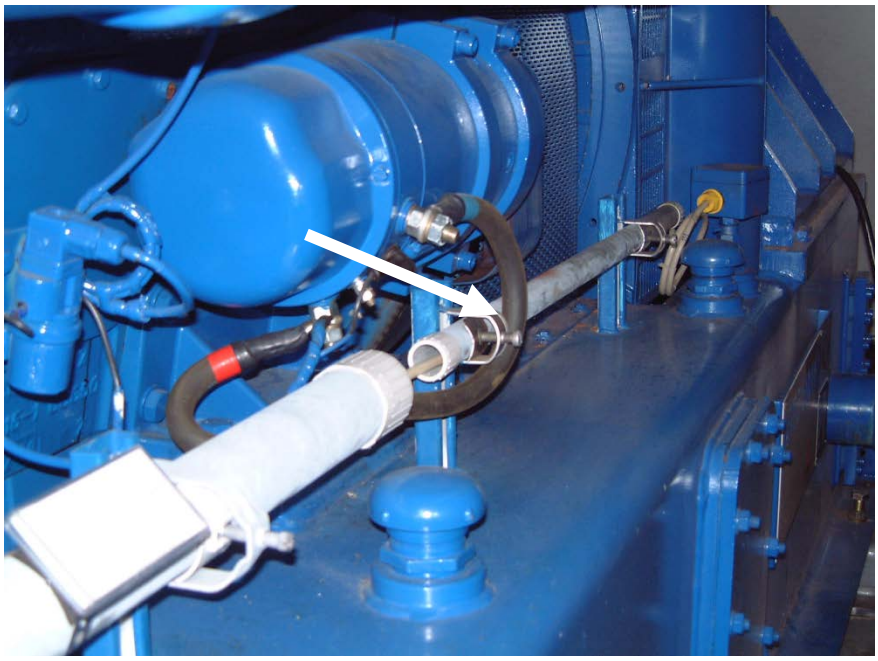


Abb. 17.5

zeigt die Verkabelung von Temperatur-Gebern und Lüftermotor.

Die Versorgungsleitungen sind bis zu den Geräten in einem Installationssystem geführt. Die Kabel sollten möglichst von unten eingeführt werden. Eine richtige Abdichtung der Kabeleinführung ist sicherzustellen.

richtig

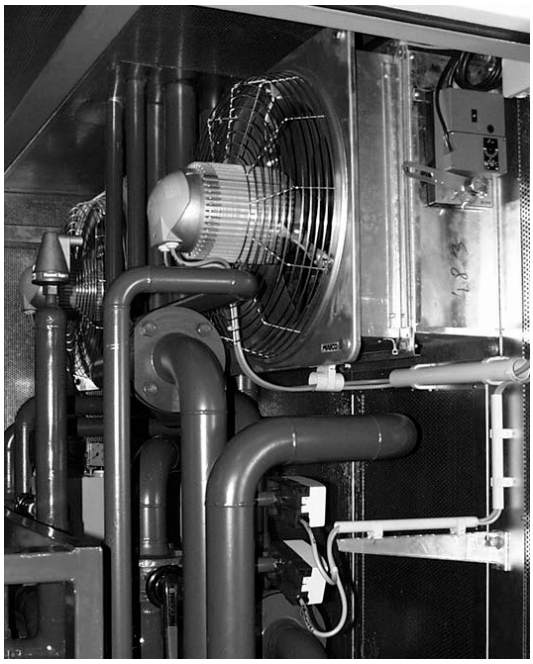


Abb. 17.6

zeigt eine fehlerhafte Verkabelung. Die Kabel am Motor dürfen wegen zusätzlicher Belastung der Stecker und EMV-Problemen nicht als Spule aufgewickelt werden.

Scheuergefahr! EMV-Probleme!

falsch

Abb. 17.7

zeigt den senkrechten Kabelabgang der Motorverkabelung auf eine Kabelwanne in Deckenhöhe. Bei der Kabelwannendurchführung ist der erforderliche Kantenschutz angebracht und die Kabel sind mit Kabelschellen fixiert (keine Kabelbinder verwenden)

Schlecht verlegt und damit ein Negativbeispiel ist die Zuleitung zum Gasmischer-Regelventil. **Das Kabel darf nicht an einer Rohrleitung direkt befestigt (Gefahr des Abscheuerns) sein** und nicht als Spule aufgewickelt werden (Störungen, mech. Verschleiß).

falsch

richtig

Abb. 17.8

Diese Abbildung zeigt ein Kabel, das lose und unmittelbar auf dem Motor und Generator verlegt ist. Daraus resultiert Kabelbeschädigung und EMV-Probleme.

Scheuergefahr! Kurzschlussgefahr! EMV-Probleme!

falsch

Abb. 17.9

zeigt den Potentialausgleich der Kühlwasserleitung über dem Gummi-Kompensator. Das Kabel ist zu lang und liegt an der Isolierung der Abgasleitung an.

Scheuergefahr! Unzulässige Erwärmung!

falsch

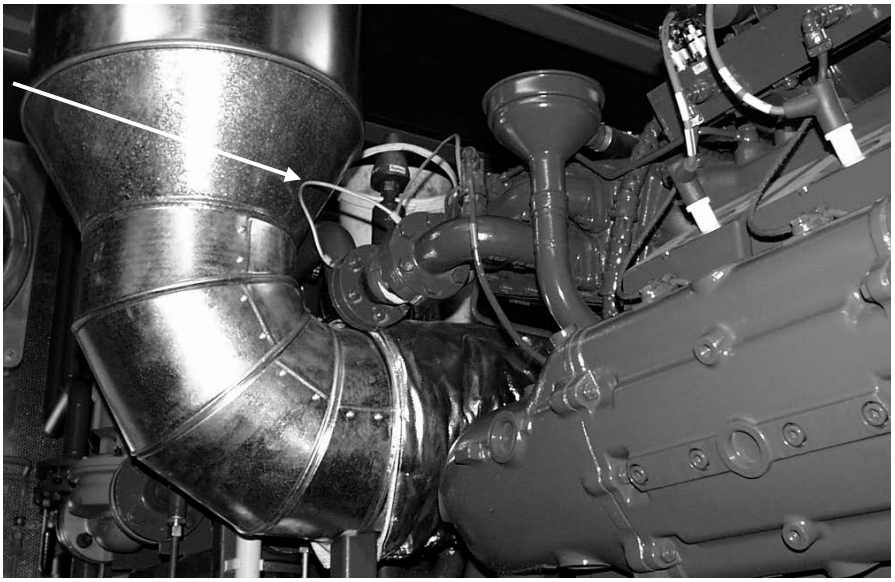


Abb. 17.10

Der Schirm ist zu lang abisoliert und nicht separat auf die Klemme gelegt. Die Adern sind in langen Schleifen auf Klemmen gelegt. Dadurch besteht die Gefahr von EMV-Probleme und Kurzschlüssen.

EMV-Probleme! Kurzschlussgefahr!

falsch

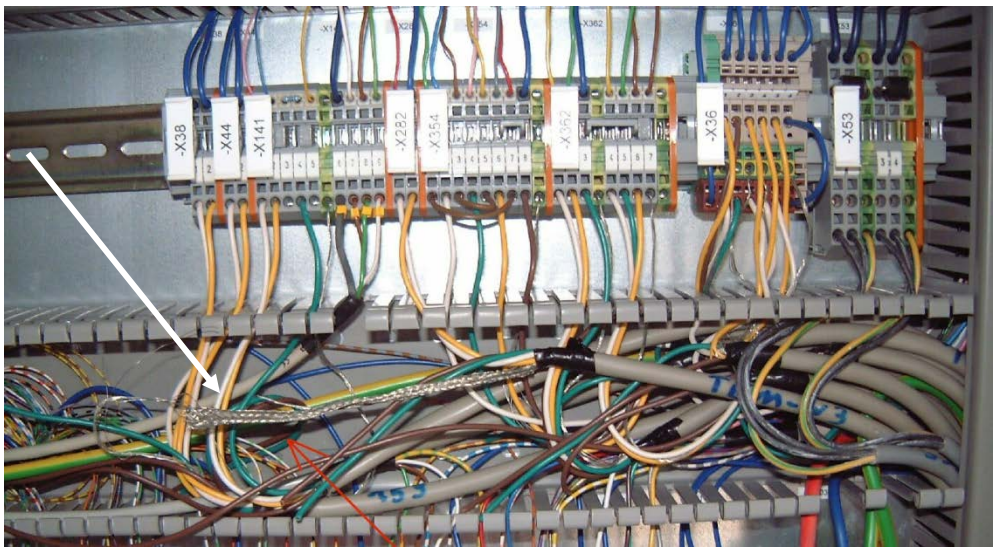


Abb. 17.11

Auf folgendem Bild ist die Abschirmung zu lang und nicht isoliert. An den extern zugeführten schwarzen Leitungen fehlen die Adern-Endhülsen.

Kurzschlussgefahr!

falsch

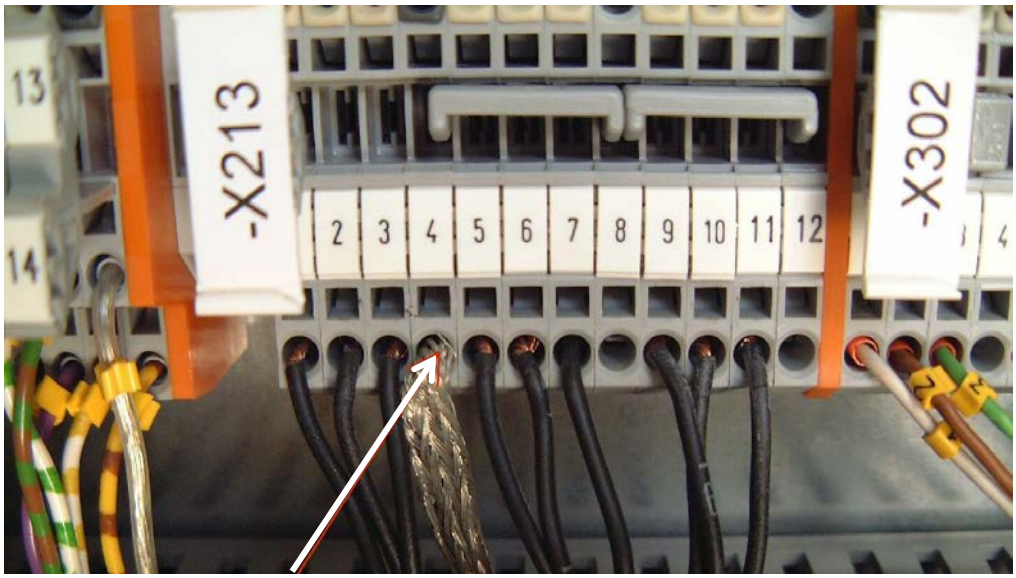


Abb. 17.12

zeigt die Verlegung der TEM-Kabel zum Aggregat. Diese sind bis zum Motor auf Kabelwanne geführt. Die Leistungskabel sind nach dem 90°-Bogen befestigt, um ein Scheuern zu verhindern und für eine entsprechende Zugentlastung zu sorgen.

Durch den 90°-Bogen der Leistungskabel werden Schwingungen abgefangen und belasten somit nicht die Kabel-Verschraubungen der Kabelanschlüsse.

richtig

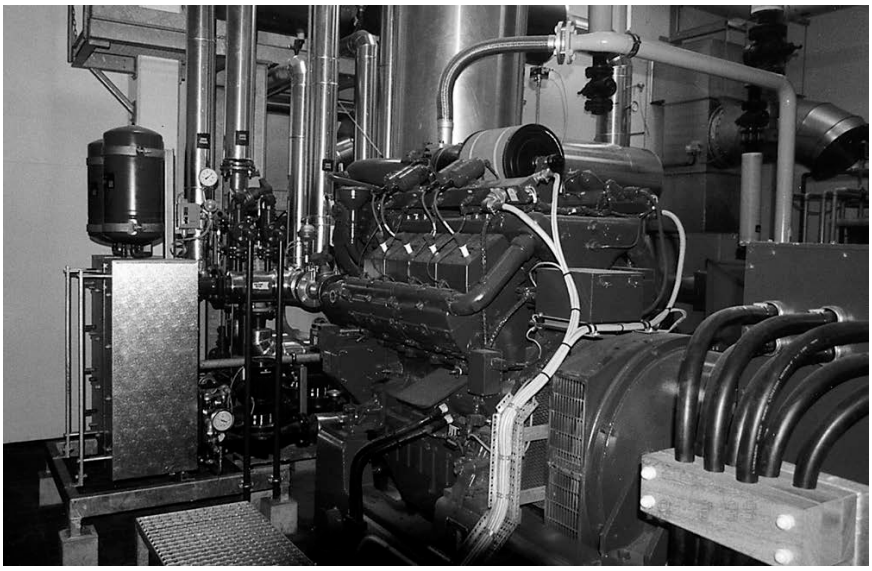


Abb. 17.13

zeigt eine korrekte Kabelverlegung mit Schellen und Kabelkanälen.

richtig

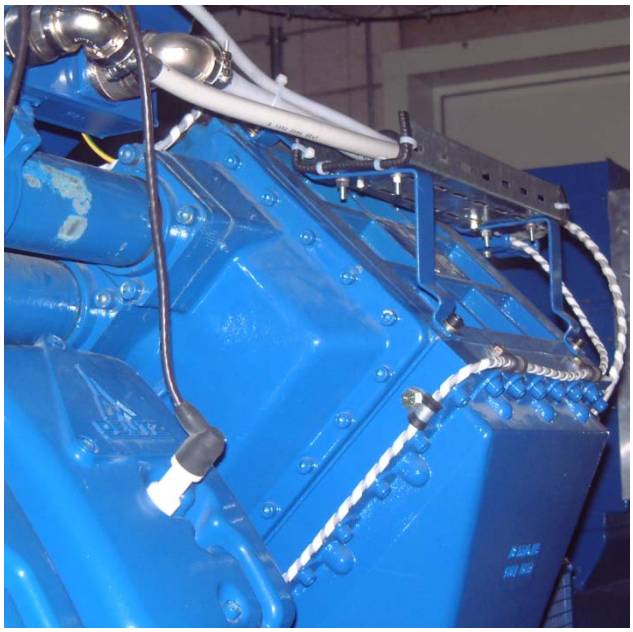


Abb. 17.14

zeigt eine korrekte Kabelverlegung mit Schellen und Kabelkanälen.

richtig

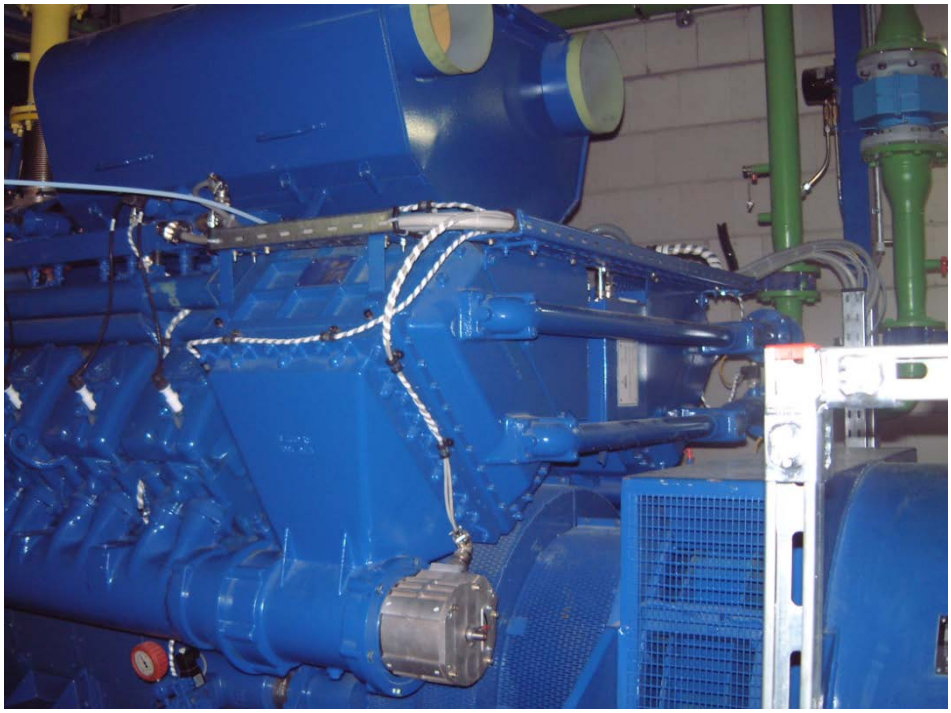


Abb. 17.15

zeigt einen TEM-Schrank, der direkt vor der Generator Abluft steht. Dadurch wird der TEM-Schrank zu stark erwärmt. Die Folge ist eine zu hohe Schrankinnentemperatur und daraus resultierende Probleme. Temperaturprobleme!

falsch

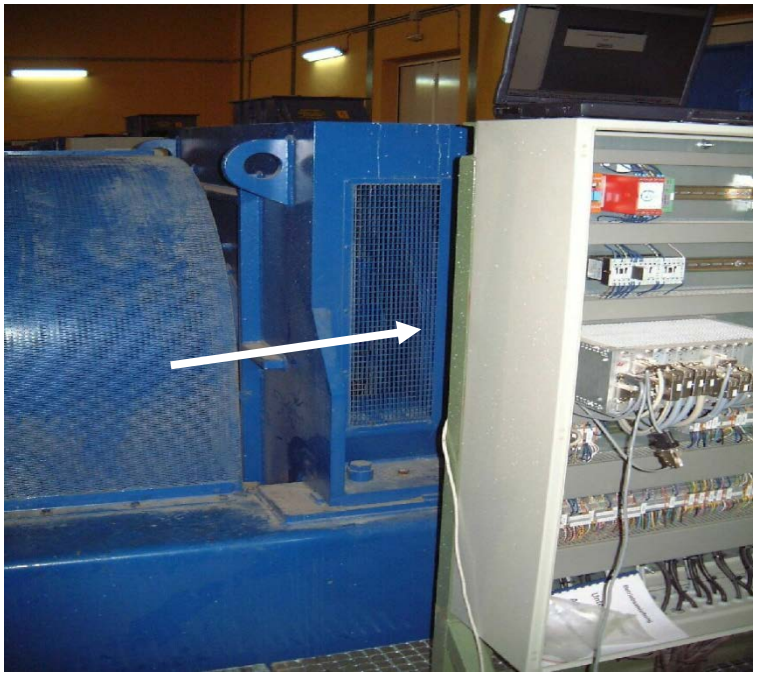


Abb. 17.16

Die Luftschlitze dürfen nicht verschlossen bzw. abgedeckt sein.

Hitzestau!

falsch

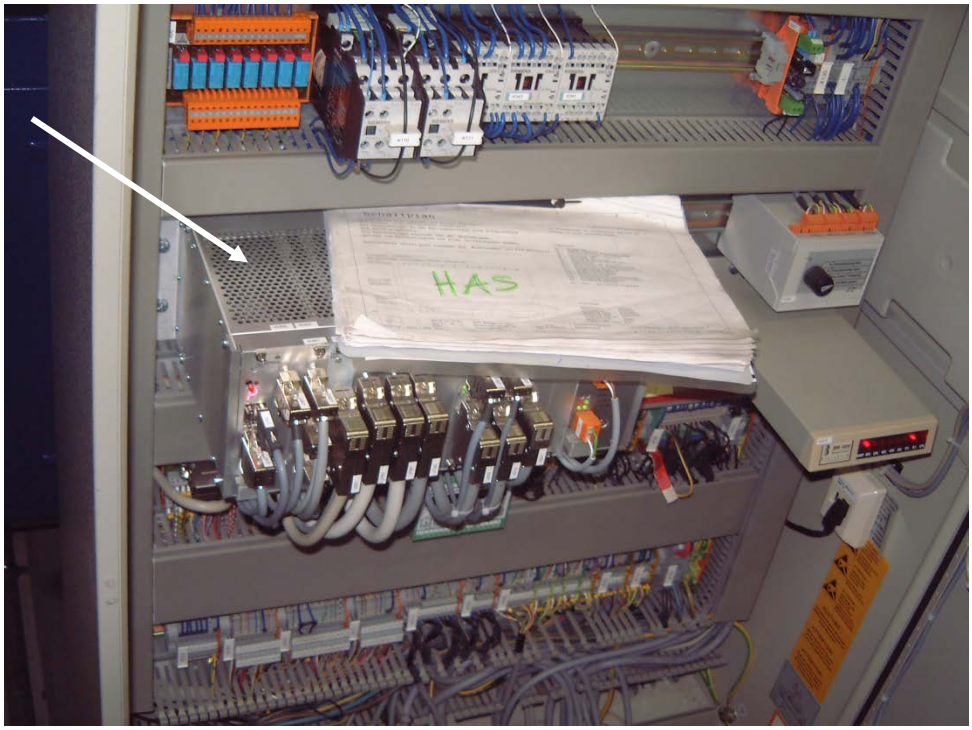


Abb. 17.17

Die Leistungskabel müssen fachgerecht in den Generator geführt werden

Lebens-, Kurzschluss und Brandgefahr!

falsch

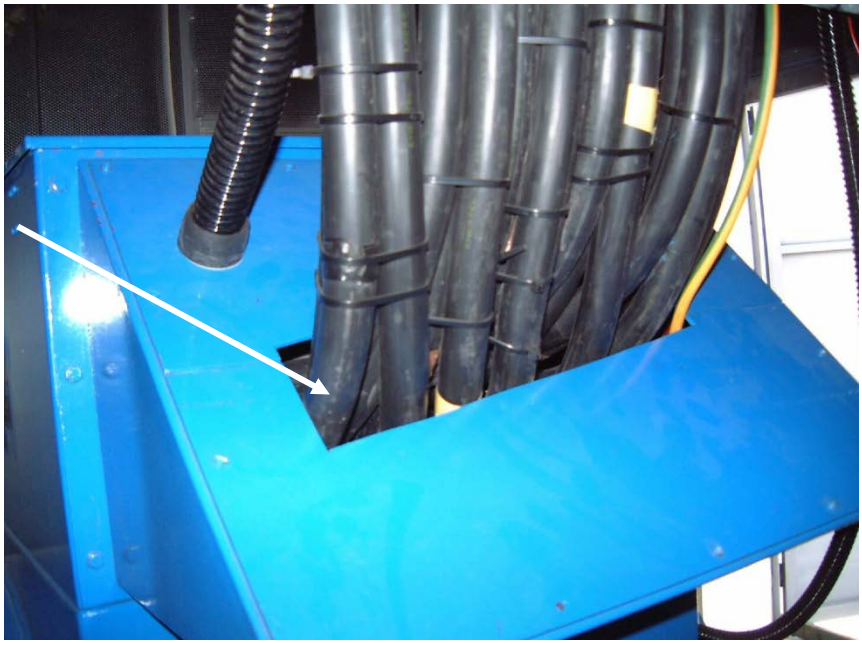


Abb. 17.18

Der Kabeleingang hat eine Abdeckung, damit keine Gegenstände in die Öffnung fallen können und evtl. einen Kurzschluss auslösen.

richtig

Abb. 17.19

Die erforderlichen Biegeradien für die Generatorleistungskabel sind eingehalten und das Gewicht der Kabel wird durch die festen Halterungen abgefangen

richtig

Abb. 17.20

Die erforderlichen Biegeradien für die Generatorleistungskabel sind zwar eingehalten, aber das Gewicht der Kabel wirkt auf die Verschraubungen und Klemmen. Die Verlegung ist nicht kurzschlussfest.

falsch

Abb. 17.21

Die Biegeradien der Generatorleistungskabel sind zu eng. Die Kabel scheuern teilweise an den Überwurfmuttern der Kabelverschraubungen.

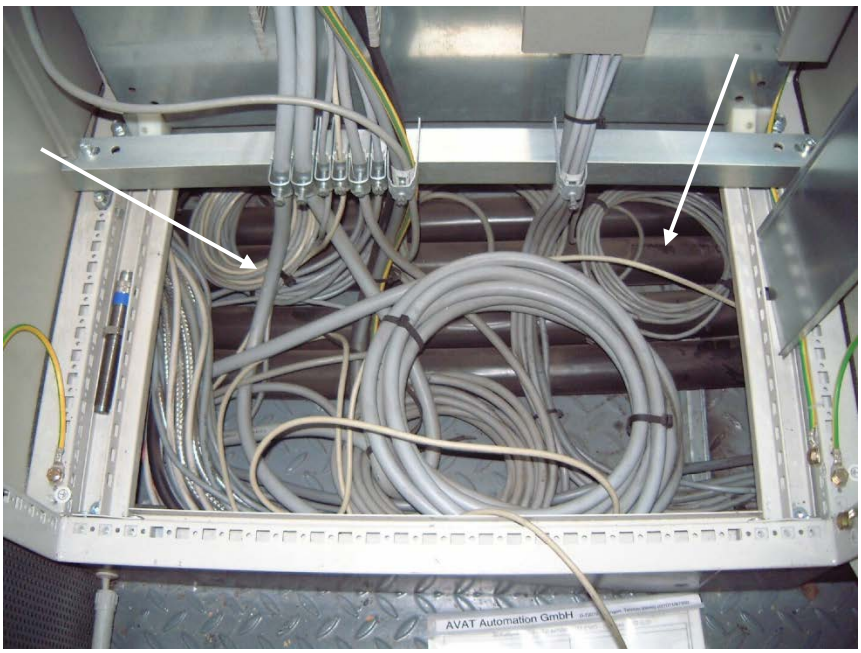
falsch

Abb. 17.22

Die Leistungskabel dürfen nicht durch Steuerschränke und TEM-Schrank geführt werden.

EMV-Probleme!

falsch



Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 18

Aggregate-Transport und -Einbringung

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

18.	**Aggregate-Transport und -Einbringung**	**3**
18.1	Vorbemerkungen	3
18.2	Verladen mit Kran	3
18.2.1	Lastaufnahmeeinrichtungen/ Hebezeuge	4
18.2.2	Wartung von Lastaufnahmeeinrichtungen/ Hebezeugen	5
18.2.3	Einsatzbeschränkungen von Lastaufnahmeeinrichtungen/ Hebezeugen	5
18.3	Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen	5
18.4	Umladen und Abladen	5
18.5	Lagerung von Aggregaten und Anlagenkomponenten	6
18.6	Einbringung und Aufstellung auf dem Fundament	7
18.6.1	Vorbereitungen zur Einbringung	7
18.6.2	Einziehen des Aggregates auf das Fundament	8
18.6.3	Absetzen des Aggregates auf dem Fundament	8
18.7	Transport und Aufstellung von Containern	11
18.7.1	Anheben des Containers	13
18.7.2	Transport von Containern	16
18.7.3	Aufstellung von Containern	17

18. Aggregate-Transport und -Einbringung

18.1 Vorbemerkungen

Der Transport eines Aggregates vom Herstellerwerk bis an den Bestimmungsort lässt sich in folgende Schritte einteilen:

- Verladen des Aggregates auf LKW mit fest installiertem Kran oder Mobilkran
- Transport auf LKW zum Bestimmungsort oder Hafen bei Verschiffung
- Umladung im Hafen oder bei Fahrzeugwechsel
- Abladen am Bestimmungsort mit Mobilkran oder fest installiertem Kran
- Einbringung und Aufstellung auf dem Fundament

18.2 Verladen mit Kran

Die Verladung der Aggregate im Werk erfolgt entweder mit dem Hallenkran oder mit einem Mobilkran. Die Aggregate sind entweder mit seitlich am Grundrahmen angebrachten Lastaufnahmepunkten (Pollern) versehen oder in Ausnahmefällen auch mit zwei unter dem Grundrahmen angebrachten Doppel-T-Trägern, die mit Schäkeln zur Aufnahme des Hebezeuges (Seile oder Kette) ausgestattet sind. Die Lage der Lastaufnahmepunkte wird symmetrisch zum Schwerpunkt des Aggregates angeordnet, sodass bei Verwendung von vier gleich langen Seilen oder Ketten das Aggregat beim Anheben in einer stabilen horizontalen Lage schwebt.
Das eine Ende der Seil- oder Kettenstränge ist entweder am Kranhaken oder einer Traverse einzuhaken.
Die anderen Enden werden an den Lastaufnahmepunkten befestigt. Die Befestigung muss auch bei unerwarteten Krafteinwirkungen sicher erhalten bleiben.
Aus diesem Grund dürfen Seil oder Kettenstränge nur mittels Klemmschuhen (Hebeklemmen) oder mittels Textilschlaufen an den Transporthalterungen befestigt werden.
Die Seile oder Ketten sind so zu führen, dass diese nur an den Lastaufnahmepunkten anliegen. Dadurch wird verhindert, dass z.B. Aggregate-Komponenten durch anliegende schräg laufende Seile oder Ketten beschädigt werden können. Dazu werden entsprechende Traversen verwendet, siehe Bild 18.1. Beim Fehlen von passenden Traversen müssen an den Seilen bzw. Ketten Spreizvorrichtungen angebracht werden.

Abb. 18.1 Anheben eines Aggregates

18.2.1 Lastaufnahmeeinrichtungen/ Hebezeuge

Lastaufnahmeeinrichtungen, Hebezeuge und Anschlagmittel, die beim Heben und Transport schwerer Lasten benutzt werden, unterliegen sowohl bei der Herstellung wie auch dem Betrieb der Überwachung und Prüfung nach gesetzlich festgelegten Vorschriften. In der EU gelten hier die Vorschriften nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und den Berufsgenossenschaftlichen Vorschriften und Regeln (BGR und BGV). Im folgenden sind einige wesentliche Punkte aufgeführt.

- Die Einrichtungen zum Heben und Transport dürfen nur von geschulten Personen verwendet werden.
- Die zulässige Belastung der Einrichtungen darf nicht überschritten werden.

Vor jeder Verwendung der Einrichtungen ist der ordnungsgemäße Zustand zu überprüfen, d.h. sie dürfen keine Schäden aufweisen, welche ihre Sicherheit und Funktion beeinträchtigen (z.B. Bruch, Kerben, Risse, Schnitte, Verschleiß, Verformungen, Schäden infolge Hitze- oder Kälte- Einwirkung, etc.).
Die Einrichtungen dürfen durch Stöße nicht überlastet werden.
Seile und Ketten dürfen keine Knoten oder Verwindungen aufweisen.
Seile und Ketten dürfen ohne entsprechende Schutzeinrichtungen nicht über scharfe Kanten geführt werden, es ist stets ein Kantenschutz vorzusehen.
Eine unsymmetrische Belastung der Einrichtungen muss vermieden werden.
Die Verkürzung von Seilen und Ketten muss sachgemäß ausgeführt werden.

18.2.2 Wartung von Lastaufnahmeeinrichtungen/ Hebezeugen

Die Lastaufnahmeeinrichtungen und Hebezeuge sind durch einen verantwortlichen Sachkundigen in festgelegten Zeitabständen (mindestens jährlich) auf äußere Fehler, Verformungen, Verschleiß und Korrosion, Anrisse und Bruch zu prüfen und bei unzulässigen Mängeln auszuscheiden. Bei der Wartung dürfen keine Änderungen vorgenommen werden, welche die Funktion und Tragfähigkeit der Lastaufnahmeeinrichtung beeinträchtigen.

18.2.3 Einsatzbeschränkungen von Lastaufnahmeeinrichtungen/ Hebezeugen

Bei hohen bzw. tiefen Temperaturen ist die Tragfähigkeit der Lastaufnahmeeinrichtung entsprechend zu reduzieren.

18.3 Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen

Beim Transport auf Fahrzeugen oder in Schiffen muss zwischen der Unterseite des Grundrahmens und der Ladefläche eine geeignete Zwischenlage vorgesehen werden. Hier können vorzugsweise handelsübliche Antirutschmatten, Klötze aus Hartgummi oder Holz verwendet werden. Durch das Anbringen von Spanngurten, Zurrketten, Laschen und Holzverpallungen muss das Aggregat gegen Verrutschen und Kippen gesichert werden. Beim Transport muss das Aggregat durch eine geeignete Transportabdeckung gegen Witterungseinflüsse geschützt werden. Bei Seetransport wird eine seemäßige Verpackung vorgesehen.

18.4 Umladen und Abladen

Das Umladen und Abladen von Aggregaten erfolgt in der Regel mit Mobilkränen. Im Hinblick auf die Wahl der Hebezeuge und der zu beachtenden Hinweise und Vorschriften gelten die gleichen Regelungen wie für das Verladen der Aggregate unter Punkt 18.2 beschrieben.

18.5 Lagerung von Aggregaten und Anlagenkomponenten

Je nach Ablauf eines Projektes kommt es vor, dass Aggregate, Schaltanlagen und Anlagenkomponenten bis zu deren Einbau zwischengelagert werden müssen. Bei der Lagerung sind folgende Punkte zu beachten:

- die Lagerung muss in einem trockenen gut belüfteten Raum erfolgen
- der Raum muss beheizt werden, wenn es durch Tageszeit oder Jahreszeit bedingten Temperurwechsel zu Taupunktunterschreitung kommen kann
- die Lagerung sollte frostsicher erfolgen

In den technischen Datenblättern für die einzelnen Komponenten werden Lagertemperaturen angegeben, die von den in den Komponenten verbauten Materialien abhängen. Vor allem Dichtungen aus Elastomeren werden bei Frosteinwirkung spröde und können leicht zerstört werden.
Für Schaltschränke mit Halbleiterelektronik werden Lagertemperaturen im Bereich von -10…+50 °C angegeben.

Insbesondere auf dem Transportweg selbst als auch bei der Zwischenlagerung in Häfen oder bei Spediteuren können die oben genannten Bedingungen nicht immer eingehalten werden. Für eventuell auftretende Schäden durch Frost oder Feuchteeinwirkung wird keine Gewährleistung übernommen.

Diesel- und Gasmotoren erhalten eine Innen- und Außen-Konservierung für eine Dauer von 24 Monaten. Überschreitet die Lagerungsdauer die Schutzdauer der Konservierung, muss eine Nachkonservierung erfolgen. Die Schutzdauer der Konservierung gilt nur dann, wenn die oben genannten Punkte bezüglich der Lagerungsbedingungen eingehalten werden.

Generatoren müssen alle 6 Monate gedreht werden, unabhängig davon, ob sie einzeln eingelagert sind oder an einem Aggregat verbaut sind.

Anlagenkomponenten, die auch beim Betrieb der Anlage im Freien aufgestellt werden, können auch im Freien gelagert werden. Das sind z.B. Ventilatorkühler oder Abgas-Schaldämpfer.

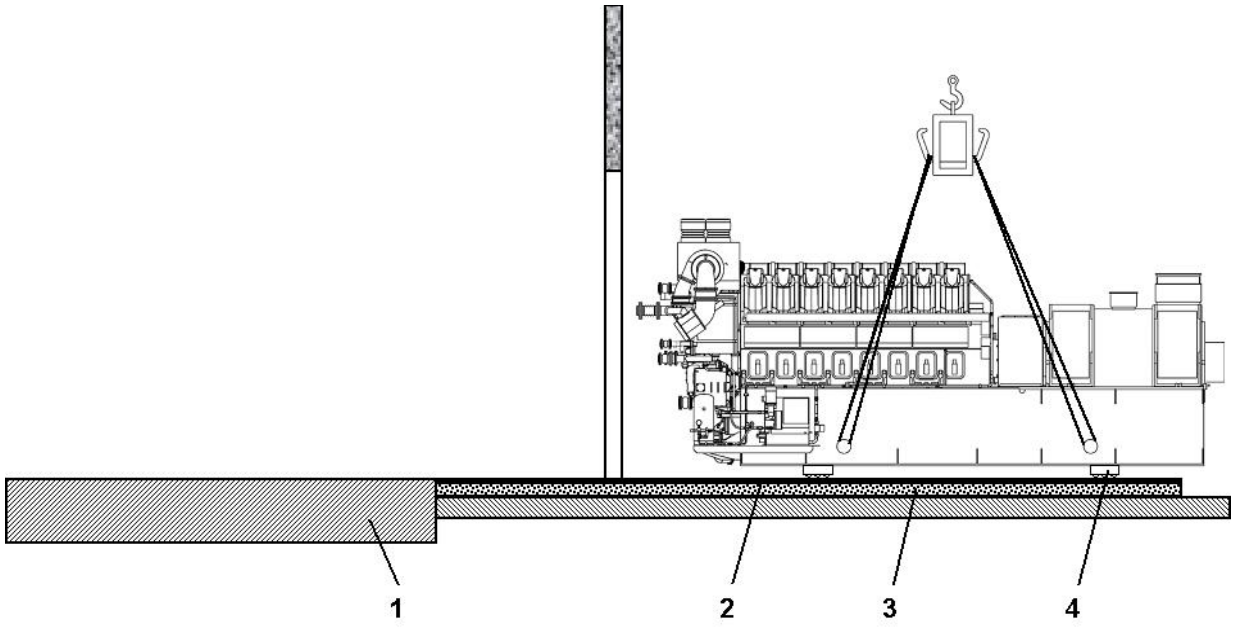
18.6 Einbringung und Aufstellung auf dem Fundament

Die Einbringung eines Aggregates wird beispielhaft für einen TCG 2032 V16 beschrieben.

18.6.1 Vorbereitungen zur Einbringung

In der Regel muss das Aggregat durch die Einbringöffnung auf das Aggregatefundament gezogen werden. Dazu empfiehlt es sich, eine mit Kies unterfütterte zweispurige Rampe mit Stahlplatten als Deckung zu bauen. Die Rampe ist in Längsrichtung des Fundamentes angeordnet, die Oberkante der Rampe fluchtet mit der Oberkante des Fundamentes. Außerhalb der Maschinenhalle muss die Rampe so weit vorgebaut werden, dass das Aggregat komplett auf der Rampe abgesetzt werden kann. Vor dem Absetzen des Aggregates werden an den vier Ecken des Grundrahmens Panzerrollen angeordnet. Siehe Abbildung 18.2.

Abb. 18.2 Vorbereitungen zur Einbringung

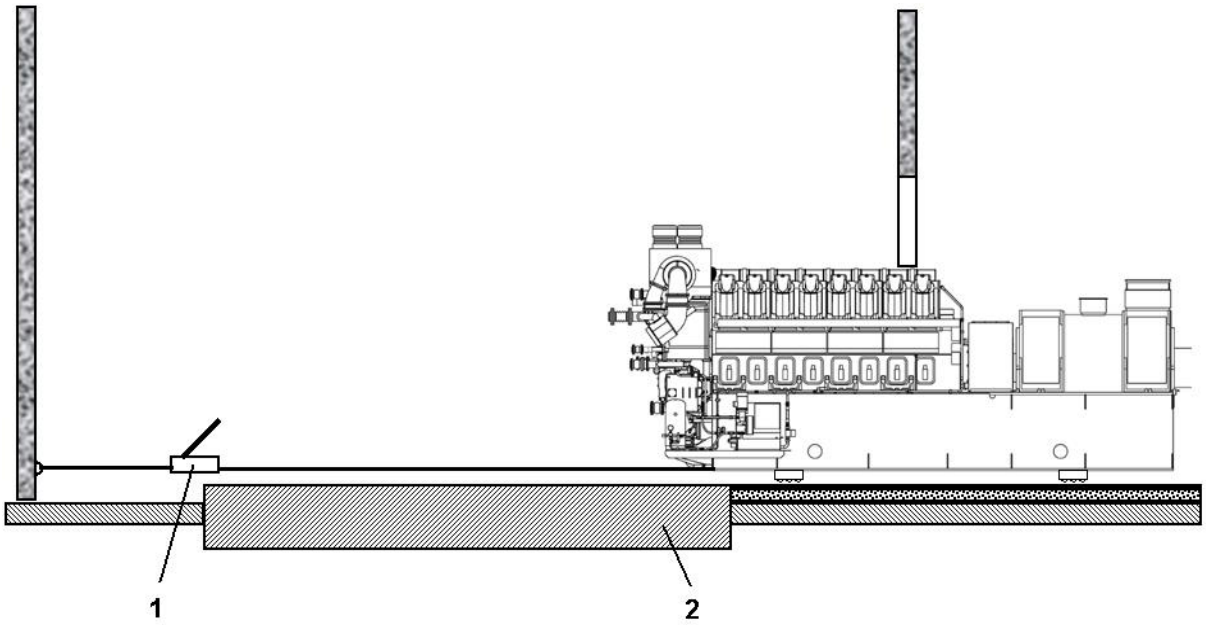


1	Fundament
2	Stahlplatten
3	Kiesbett
4	Panzerrolle

18.6.2 Einziehen des Aggregates auf das Fundament

Nach dem Absetzen des Aggregates auf der Rampe, werden an den vorderen beiden Ecken des Grundrahmens mit entsprechenden Schäkeln zwei Seile mit Seilzügen angebracht. Für das Anhängen der freien Seilenden können z.B. an der gegenüberliegenden Wand Lastaufnahmepunkte angebracht werden. Mit den beiden Seilzügen wird dann das Aggregat bis zur endgültigen Position auf dem Fundament gezogen., siehe Abb. 18.3. Es ist also günstig, schon beim Absetzen des Aggregates auf die Rampe darauf zu achten, dass das Aggregat mittig und mit der Längsachse des Fundamentes fluchtend abgesetzt wird.

Abb. 18.3 Einziehen des Aggregates



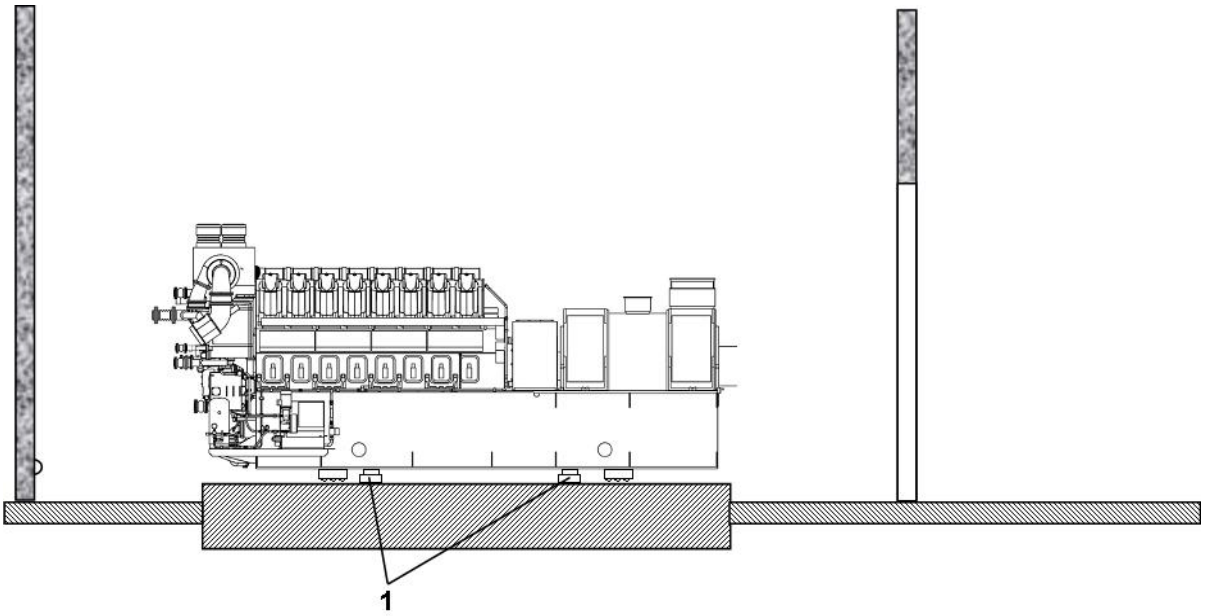
1 Seilzug

2 Fundament

18.6.3 Absetzen des Aggregates auf dem Fundament

Wenn das Aggregat in seine endgültige Position auf dem Fundament manövriert worden ist, muss es auf dem Fundament abgesetzt werden. Dazu werden unter dem Grundrahmen mindestens vier Hydraulikzylinder angesetzt, mit denen das Aggregat gleichmäßig angehoben werden kann (siehe Abb. 18.4). Die Panzerrollen werden entfernt und die Federelemente angeschraubt. Durch Ablassen der Hydraulikzylinder wird das Gewicht des Aggregates von den Federelementen übernommen. Zur gleichmäßigen Belastung der Federelemente müssen diese nach der jeweiligen Vorschrift eingestellt werden (siehe Abb. 18.5 und 18.6).

Abb. 18.4 Ansetzen der Hubzylinder



1 Hubzylinder

Abb. 18.5 Anbringen der Federelemente

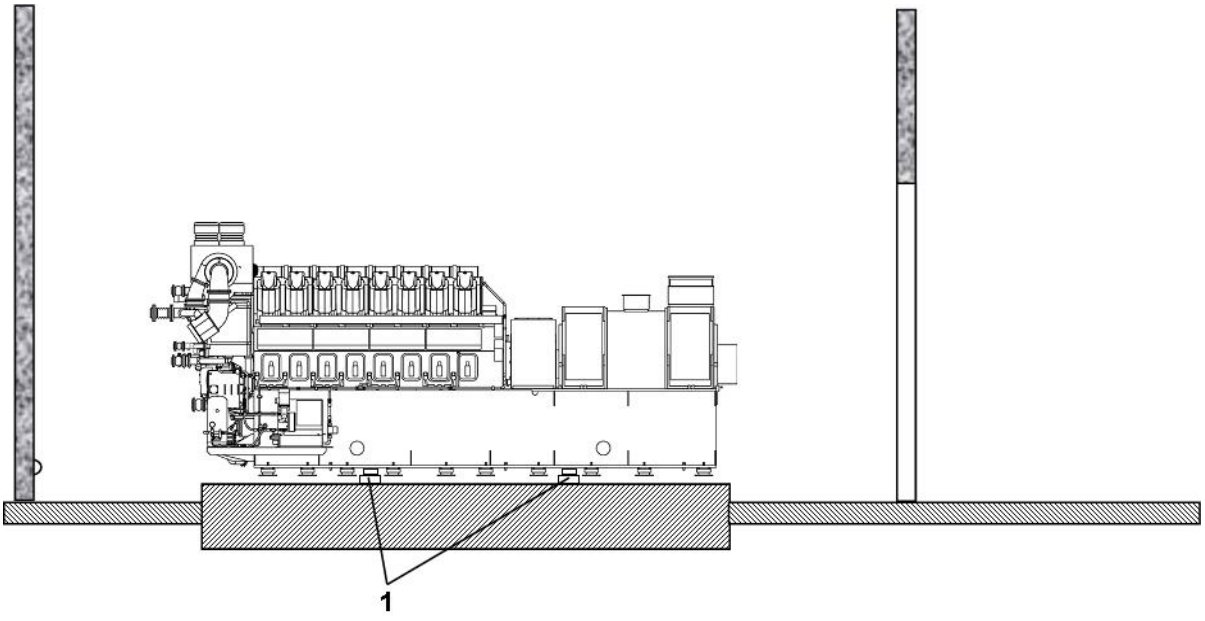
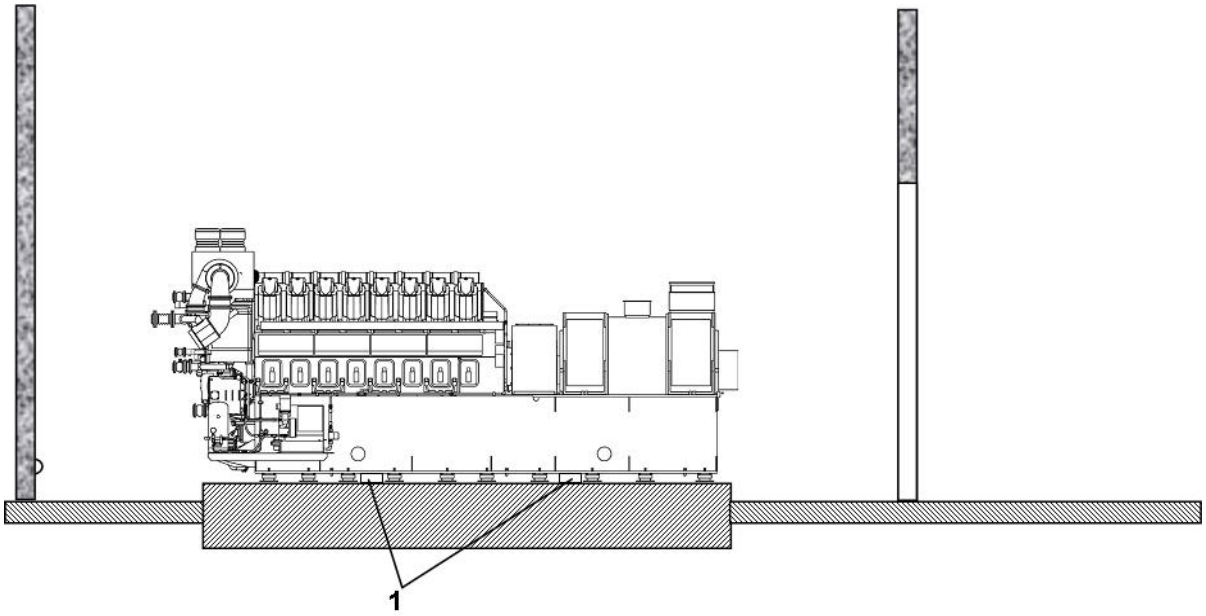


Abb. 18.6 Absetzen des Aggregates auf dem Fundament

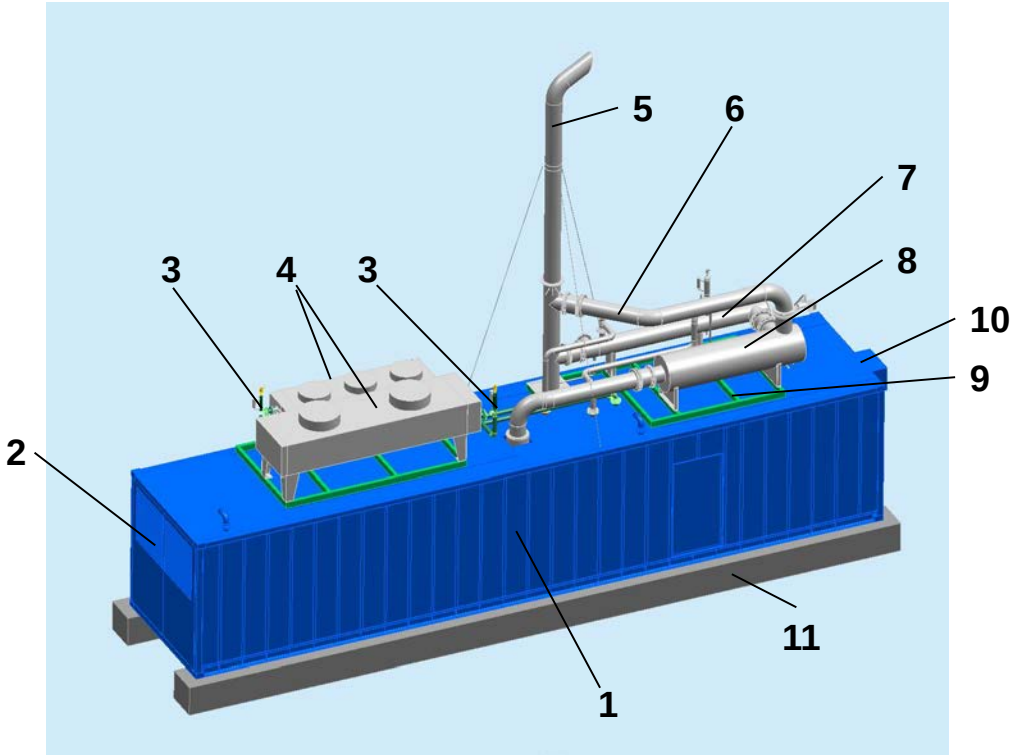


1 Hubzylinder

18.7 Transport und Aufstellung von Containern

Bei Containeranlagen ist das Aggregat fertig montiert und im Container eingebaut. Anlagenkomponenten wie Abgasschalldämpfer, Abgaswärmetauscher und Tischkühler sind auf einem gemeinsamen oder mehreren getrennten Rahmen aus Vierkantrohren auf dem Containerdach angeordnet. Diese Rahmen liegen lose auf dem Containerdach auf. Für den Transport einer Containeranlage werden die auf dem Dach angeordneten Komponenten abgenommen und neben dem Container als separate Frachten transportiert. Abbildung 18.7 zeigt die Containeranlage fertig montiert, die Abbildungen 18.8-18.10 zeigen die Aufteilung der Komponenten in einzelne Lose für den Transport. Bei der dargestellten Anlage handelt es sich um einen BHKW-Container, bei dem die Komponenten auf dem Dach jeweils auf getrennten Rahmen montiert sind.

Abb. 18.7 Containeranlage komplett



1	Container	7	Abgaswärmetauscher
2	Zuluftkomponenten	8	Abgasschalldämpfer
3	Wasserrohre	9	Rahmen
4	Tischkühler	10	Klimagerät
5	Abgaskamin	11	Streifenfundament (bauseits)
6	Abgas-Bypass		

Abb 18.8 Container ohne Dachaufbauten und Klimagerät

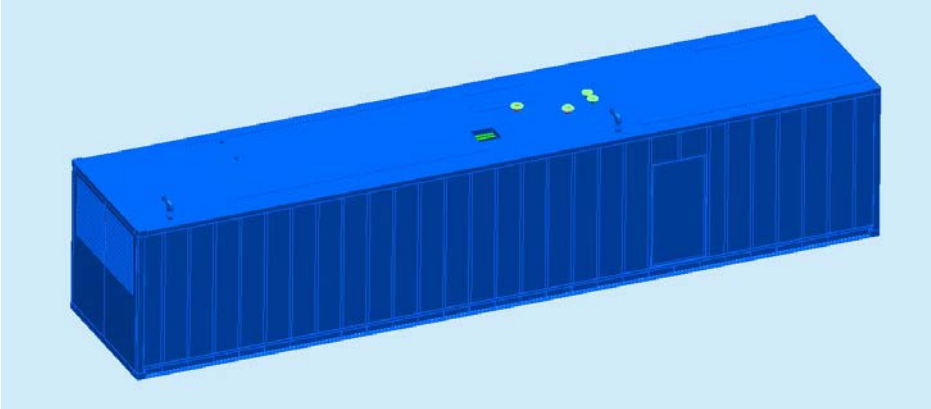
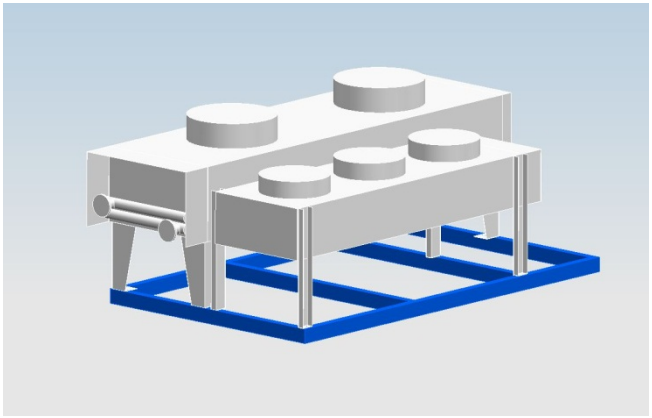


Abb. 18.9 Komponenten mit Rahmen



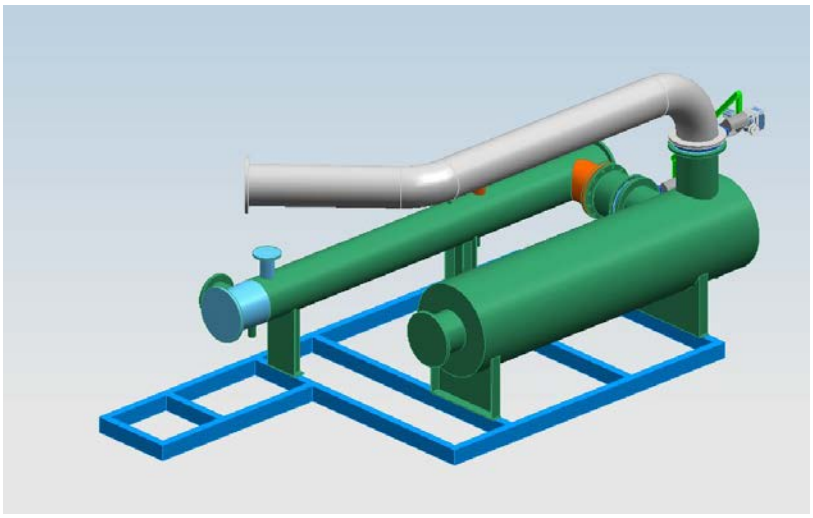
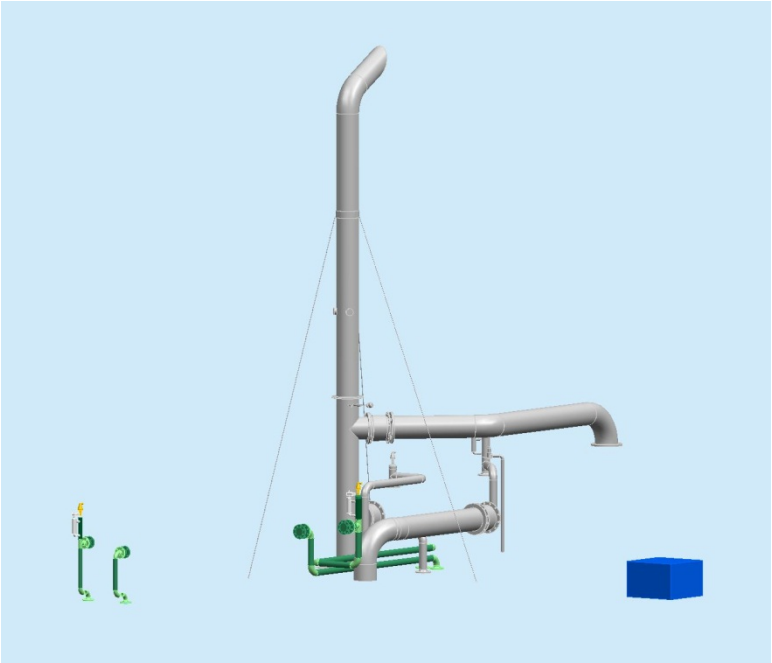


Abb. 18.10 Diese Komponenten werden lose zusammengepackt



18.7.1 Anheben des Containers

Zum Verladen des Containers für den Transport, beim eventuellen Umladen und zum Entladen auf der Baustelle muss der Container angehoben werden und an einem Kran hängend bewegt werden. Die Komponenten innerhalb des Containers, insbesondere das elastisch aufgestellte Aggregat, sind für den Transport gesichert. Das Aggregat wird mit Hilfe mehrerer Gewindestangen und Unterlegen von Hartholzklötzen zwischen Aggregategrundrahmen und Fundamentschiene fest verblockt. Zusätzlich wird das Aggregat an den vier Ecken des Grundrahmens mit Spanngurten fest mit an der Containerstruktur angebrachten Halteösen verzurrt. Bauteile für Inbetriebnahme oder sonstige Teile, die im Container lose mittransportiert werden, sind ebenfalls für den Transport gesichert.

Dennoch muss darauf geachtet werden, dass der Container beim Anheben möglichst gleichmäßig und waagerecht angehoben wird. Zum Anheben werden die im Dach und Boden des Containers eingeschweißten Container-Eckbeschläge als Lastaufnahmepunkte verwendet. Die Seillängen sind so zu wählen, das sich der Kranhaken in der Ebene des Container-Schwerpunktes befindet. Die Lage des Container-Schwerpunktes ist außen auf der Seitenwand des Containers markiert. Siehe auch Bild 18.11.und 18.14.

Wenn zum Anheben des Conatiners die oberen Eckbeschläge benutz werden, müssen die Kräfte senkrecht nach oben wirken. In diesem Fall muss eine Traverse benutzt werden oder das Anheben muss mit zwei Kränen erfolgen.

Abb. 18.11 Anheben des Containers mit Seilen

Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen wie abgebildet ist nicht zugelassen!

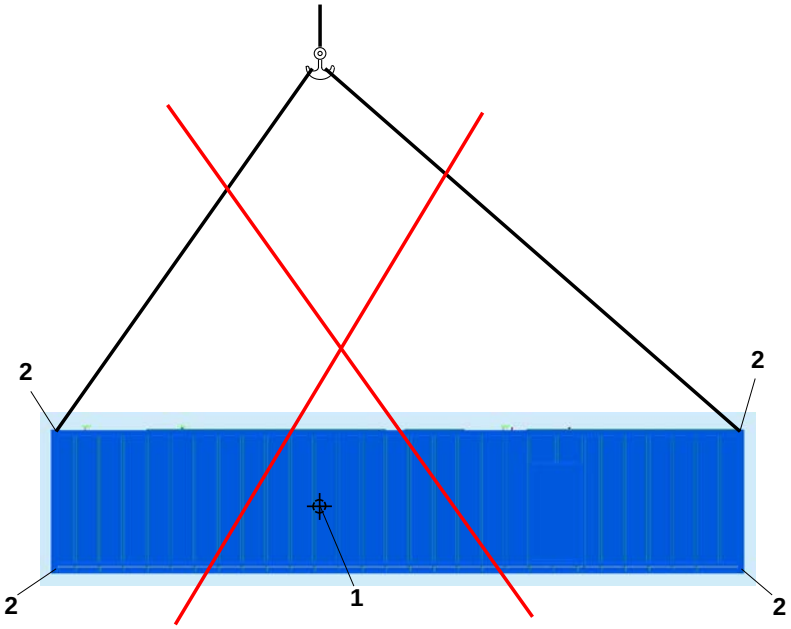
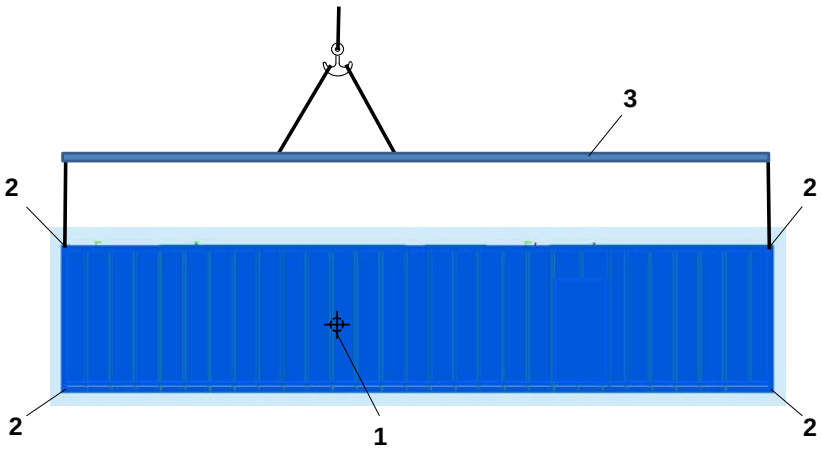


Abb. 18.12 Anheben des Containers mit Traverse

Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Traverse



1	Schwerpunktmarkierung
2	Container-Eckbeschlag
3	Traverse

Abb. 18.13 Anheben des Containers mit Traverse

Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit zwei Kränen

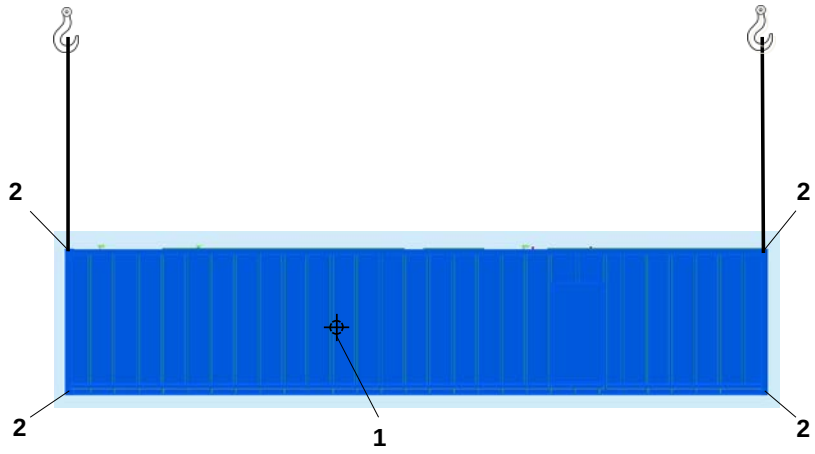
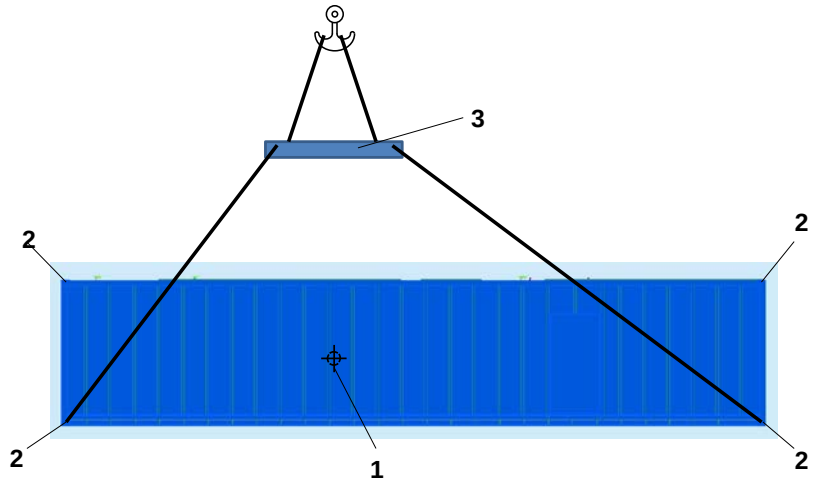


Abb. 18.14 Anheben des Containers mit Traverse

Anheben des Containers an den unteren Eckbeschlägen mit Traverse



1	Schwerpunktmarkierung
2	Container-Eckbeschlag
3	Traverse

Abb. 18.15 Anheben eines Containers mit Traverse

Bild folgt

18.7.2 Transport von Containern

In den meisten Fällen erfolgt der Transport des Containers und des Zubehörs mit LKW direkt zum Bestimmungsort. Bei Anlagen nach Übersee werden die Container zu einem Seehafen transportiert und im Schiff verladen. Vom Bestimmungshafen aus werden die Container in der Regel wieder per LKW zum jeweiligen Aufstellort transportiert.

Abb. 18.14 Transport eines Containers mit Tieflader

Je nach Spezifikation kann es auch vorkommen, dass die Container für den Seetransport in einer Kiste verpackt werden.
Bei jedem Transport sind sowohl der Container als auch die auf den Rahmen montierten Komponenten zu sichern. Zur Befestigung des Containers auf dem Tieflader sind die Container-Eckbeschläge an der Unterseite zu benutzen. Bei Nutzung der oberen Container-Eckbeschläge als Befestigungspunkte wird der Container in der Regel beschädigt. Beulen und Schäden an der Lackierung sind nicht zu vermeiden.

Abb 18.15 Diese Befestigung führt zu Beulen und Lackschäden am Container

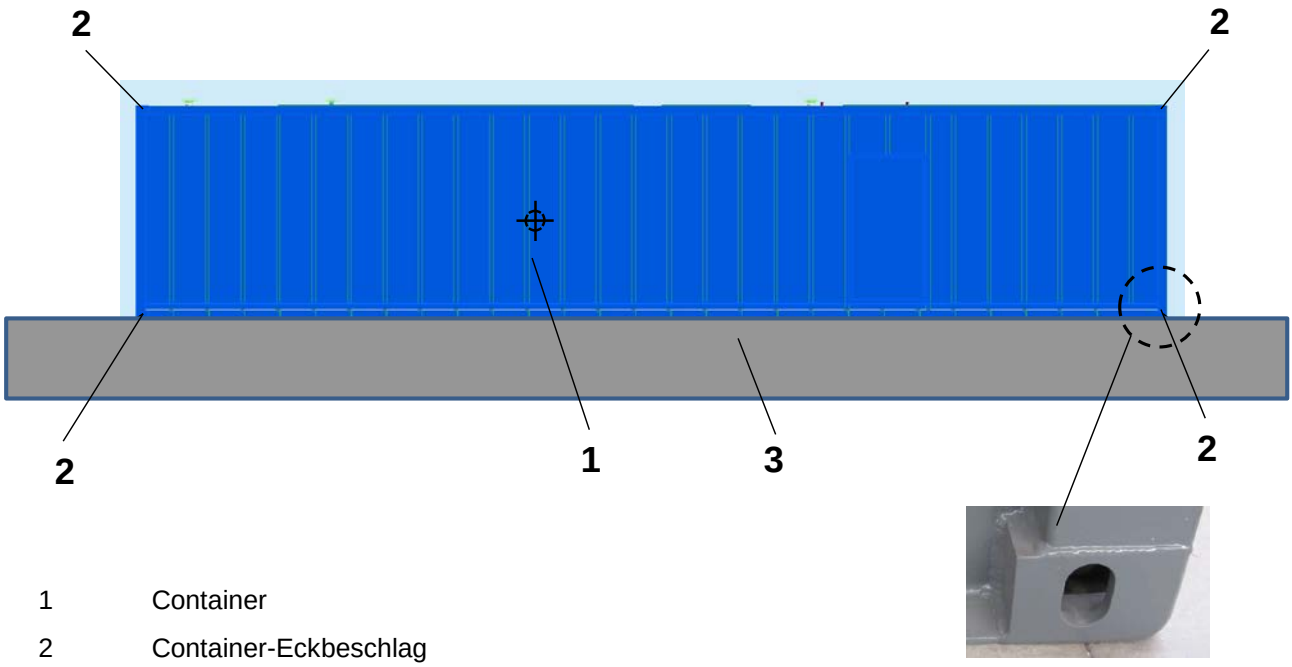
18.7.3 Aufstellung von Containern

Der Container wird entweder auf einer durchgehenden Fundamentplatte oder mehreren Streifenfundamenten aufgestellt. Bei Streifenfundamenten werden normalerweise zwei Streifen unter den beiden Längsseiten des Containers vorgesehen. Je nach Anordnung der Kabelabgänge im Container müssen im Fundament bzw. in den Fundamentstreifen passende Kanäle bzw. Aussparungen vorgesehen werden. Die Auslegung des Fundamentes, d.h. Fundamenthöhe, Wahl der Betongüte und Bewehrung, muss bauseits von einem Statiker durchgeführt werden. Die Unebenheit des Fundamentes sollte in Längsrichtung 5 mm und in Querrichtung 2 mm nicht überschreiten.
Vor dem Absetzen des Containers auf dem Fundament müssen folgende Punkte überprüft werden:

- Fundament auf Ebenheit und Sauberkeit überprüfen
- Lage der Aussparungen für Kabelabgänge prüfen
- Container-Unterseite auf Sauberkeit überprüfen

Danach wird der Container auf dem Fundament abgesetzt

Abb. 18.16 Aufstellung des Containers auf dem Fundament



1	Container
2	Container-Eckbeschlag
3	Fundament

Nach der Aufstellung des Containers werden die Komponenten auf dem Dach montiert und angeschlossen. Weiterhin müssen die externen Leitungen für Gas, Öl, Heizkreiswasser sowie die elektrische Anbindung vorgesehen werden.

Bei eventuell schwergängigen oder klemmenden Türen muss die Einstellung an den Scharnieren nachjustiert werden.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 19

Einbau- und Ausrichtungshinweise für das Aggregat

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

19.	**Einbau- und Ausrichtungshinweise für das Aggregat**	**3**
19.1	Aggregate-Transport und Einbringung	3
19.2	Schutz des Aggregates	3
19.3	Elastische Lagerung	4
19.4	Drehelastische Kupplung	4
19.5	Gummi-Kompensatoren und Schlauchleitungen	6
19.5.1	Gummi-Kompensatoren	11
19.5.1.1.1	Lagerung	11
19.5.1.2	Anordnung und Einbau	11
19.5.1.3	Montage	12
19.5.1.4	Anordnung von Rohrhalterungen	14
19.5.1.5	Schutzmaßnahmen nach der Montage	14
19.5.1.6	Unterdruckbelastung	14
19.5.2	Schlauchleitungen	14
19.5.2.1	Lagerung	14
19.5.2.2	Anordnung und Einbau	15
19.5.2.3	Montage	21
19.5.2.4	Rohrhalterungen	21
19.5.2.5	Schutzmaßnahmen nach der Montage	21
19.5.2.6	Zulassungs-Prüfung	21
19.5.3	Abgaskompensatoren	22
19.5.3.1	Lagerung	22
19.5.3.2	Anordnung und Einbau	22
19.5.3.2.1	Einbau am Motor (Turbolader)	24
19.5.3.2.2	Einbau in der Rohrleitungs-Strecke	25
19.5.3.3	Montage	27
19.5.3.4	Anordnung von Rohrhalterungen in der Abgasleitung	31
19.5.3.5	Schutzmaßnahmen nach der Montage	32
19.5.3.6	Isolierung	32
19.6	Hinweise zur Inbetriebnahme	32

19. Einbau- und Ausrichtungshinweise für das Aggregat

Mit diesen Hinweisen soll ein ordnungsgemäßes Einbringen und Einbau des Aggregates in den Aggregateraum gewährleistet und mögliche Folgeschäden durch falsche Montage vermieden werden.

19.1 Aggregate-Transport und Einbringung

In dem Kapitel 18 "Transport und –Einbringung " wird beschrieben, welche Maßnahmen zu treffen sind, um das Aggregat auf seinen Bestimmungsort zu platzieren.

19.2 Schutz des Aggregates

Nach dem Aufsetzen und Ausrichten des Aggregates auf dem Fundament und vor Beginn der Verrohrungs - und Verkabelungsarbeiten sollte das Aggregat z. B. mit einer Plane vor Staub und Schmutz geschützt werden.
Zum Schutz der Elektronik und der Lager im Motor und Generator darf am Aggregat generell nicht geschweißt werden!
Auch ist darauf zu achten, dass am Aggregat angebrachte Teile, wie Geber, Temperaturfühler oder Anbauten wie Pumpen, Filter etc. bei Montagetätigkeiten nicht als „Leiter„ benutzt werden.

Um den Wert der Anlage und deren Zuverlässigkeit zu erhalten, weisen wir auf folgende Punkte hin:

- Der Aggregateraum einschließlich dem Raum für die Schaltanlage sollen möglichst staubfrei gehalten werden. Staub setzt die Lebensdauer des Motors herab, verkürzt die Standzeit des Generators und beeinträchtigt die Funktion der Steuerung.
- Kondenswasser und feuchte Aggregateräume fördern die Korrosion von Aggregat und Schaltanlage. Hochwertige BHKW - Anlagen erfordern trockene, möglichst beheizte Räume (über 5°C).
- Der Motor wird werksseitig nach dem Prüfstandslauf einer Innenkonservierung nach unserer Werknorm unterzogen. Die Standardkonservierung ist für die Dauer von 24 Monaten. Bei längerer Stillstandszeit des Aggregates ist vor der Inbetriebnahme beim Generator der Isolationswiderstand zu prüfen. Bei Feuchtigkeit ist der Generator zu trocknen (Stillstandsheizung oder andere geeignete Maßnahme).
- Wird das Aggregat in einem Container aufgebaut, so ist für die Lagerung bzw. Transport das Aggregat vollständig zu entleeren (Frostgefahr) und gegen Verrücken zu sichern.

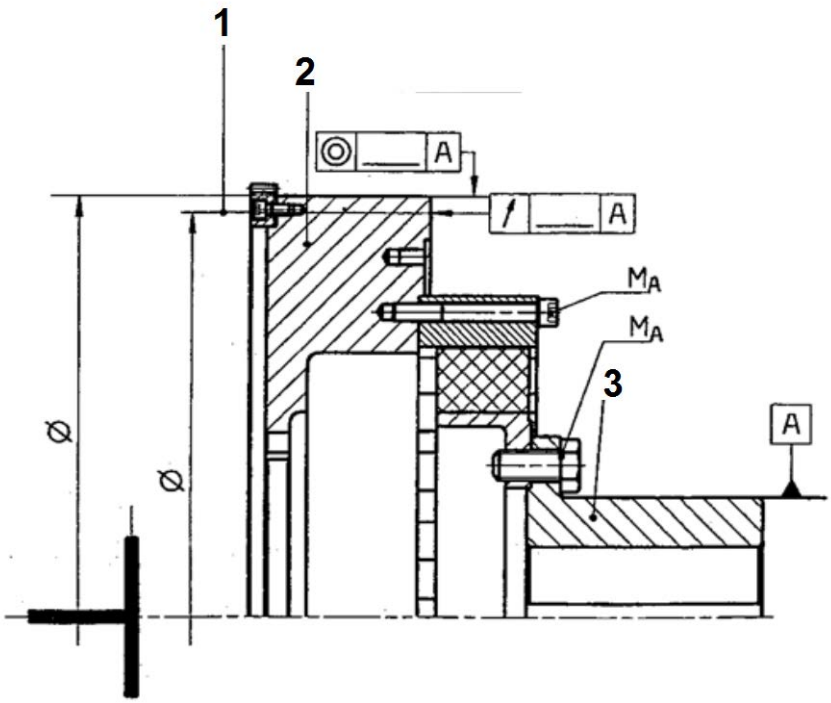
19.3 Elastische Lagerung

Standardmäßig werden zur elastischen Lagerung der Aggregate Stahlfederkörper verwendet. Diese sind serienmäßig mit einer Nivellierung versehen. Unter der Fußplatte des Lagerelementes befindet sich eine Gummiplatte, die direkt auf das Fundament aufgesetzt werden kann. Hierbei ist zu beachten, dass die Fundamentoberfläche frei ist von Fett, Schmieröl, Kraftstoff oder anderen Verunreinigungen. Die Fundamentoberfläche soll eine Ebenheit von ± 2 mm vorweisen und eine Rauhigkeit üblicher Betonfundamente. Das Fundament darf nicht gefließt sein.
Ein Verschrauben oder Verdübeln der Federelemente mit dem Fundament ist nicht erforderlich. Zur Fixierung des Aggregates auf dem Fundament können jedoch die 4 Lagerelemente an den Eckpunkten des Aggregates verschraubt (verdübelt) oder, im Containereinbau, mit Stahlstoppern fixiert werden.
Die Anzahl und Anordnung der Federkörper ist in der auftragsbezogenen Aggregatezeichnung angegeben, ebenso der Hinweis auf die Einbau- und Ausrichtvorschrift der verwendeten Stahlfeder.
In erdbebenunsicheren Ländern werden an die Lagerung der Aggregate besondere Anforderungen gestellt. Hier müssen die Lager mit dem Fundament verdübelt werden. Diese Verbindung muss unbedingt vom Baustatiker nachgerechnet werden.
Wird das Aggregat in einem Container installiert, so muss zum Transport eine Transportsicherung zwischen dem Grundrahmen und den Fundamentplatten im Containerboden montiert werden. Diese soll Bewegungen des Aggregates auf den Stahlfederkörpern verhindern. Vor Inbetriebnahme des Aggregates müssen die Transportsicherungen wieder demontiert werden.

19.4 Drehelastische Kupplung

Nach der Ausrichtung des Aggregates auf dem Fundament muss der Plan- und Rundlauf der Kupplung geprüft werden. Die Prüfung erfolgt mittels Messuhren. Die Positionierung der Messuhren ist in Abb. 19.1 prinzipiell dargestellt. Maßangaben sowie Toleranzangaben zur Ausrichtung und Schraubenanzugsmomente sind in der auftragsbezogenen Aggregatezeichnung angegeben.
Die Korrektur der Ausrichtung wird durch Verschieben des Generators bzw. mittels Beilageblechen unter dem Generatorfuß erreicht.

Abb. 19.1 Positionierung der Messuhren



1 Bezugsmaß zum Überprüfen des Planlaufs

2 Schwungrad

3 Kupplung

19.5 Gummi-Kompensatoren und Schlauchleitungen

Kompensatoren und Schlauchleitungen dienen zur elastischen Abkoppelung der medienführenden Rohrleitungen in der Anlage vom elastisch gelagerten Aggregat. Weiterhin übernehmen Kompensatoren und Schlauchleitungen die Isolierung des Körperschalls, der ansonsten durch Rohrleitungen in das Gebäude übertragen würde.
Zusätzlich müssen in den Rohrleitungen in der Anlage Kompensatoren und Schlauchleitungen zur Kompensation von Wärmeausdehnungen vorgesehen werden. Die Anzahl der einzubauenden Kompensatoren hängt von der Rohrleitungsführung selbst und der durch die Temperatur des Mediums im Rohr hervorgerufenen Wärmeausdehnung ab.

Hinweis:
Vor der Montage von Kompensatoren und Schlauchleitungen muss das Aggregat gemäß Kapitel 19.2 (elastische Lagerelemente) auf dem Fundament ausgerichtet werden. Das Anschließen der anlagenseitigen Rohrleitungen erfolgt ohne Befüllung mit Wasser und Schmieröl. Nach der Befüllung mit Schmieröl und Wasser federt das Aggregat auf der Motorseite lediglich um zusätzliche 1 – 2 mm ein. Bei Bedarf kann eine Nachjustierung der höhenverstellbaren elastischen Lagerelemente durchgeführt werden.
In den Tabellen 19.1 und 19.2 sind die Flanschanschlussmaße und Kennwerte der Kompensatoren aufgeführt.

Tab. 19.1 Kompensatoren mit Flanschen nach DIN 2501

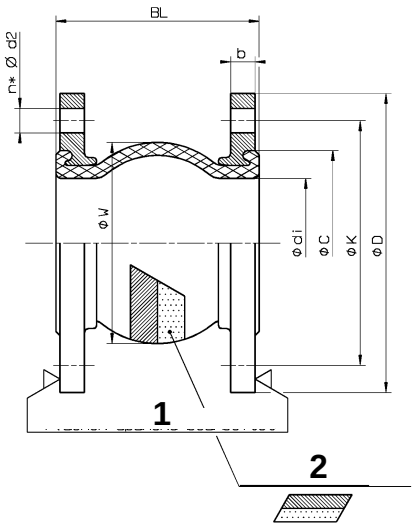
		1					2					3				4
5	6								7	8	9	10	11	12	13	14
DN		PN	ØD	ØK	nxØd2	b	BL	Ødi		ØC	W					
[mm]		[bar]	[mm]						cm²	[mm]					[°]	[kg]
32	42,4x2,6	16	150	100	4xØ18	16	125	35	28	75	74	30	10	10	25	4,4
40	48,3x2,6	16	150	110	4xØ18	16	125	35	28	75	74	30	10	10	25	4,4
50	60,3x2,9	16	165	125	4xØ18	16	125	43	40	85	86	30	10	10	25	4,5
65	76,1x2,9	16	185	145	4xØ18	16	125	64	68	104	110	30	10	10	25	4,9
80	88,9x3,2	16	200	160	8xØ18	18	150	73	108	117	137	40	10	10	20	5,9
100	114,3x3,6	16	220	180	8xØ18	18	150	88	124	136	146	40	10	10	15	7,2
125	139,7x4	16	250	210	8xØ18	18	150	115	187	164	175	40	10	10	15	9,1
150	168,3x4,5	16	285	240	8xØ22	18	150	145	245	190	198	40	10	10	12	10,9
175	193,7x5,4	16	315	270	8xØ22	18	150	167	320	215	225	40	10	10	10	15,7
200	219,1x5,9	16	340	295	8xØ22	20	175	194	425	265	260	45	15	15	8	19,8

Legende für Spaltenbezeichnungen

Position	Zeichen	Bezeichnung
1		Flanschmaße nach DIN 2501 *1)
2		Balg
3		Bewegungsaufnahme
4		Kompensator
5	DN	Nenndurchmesser
6		Rohr nach DIN 2448
7		Wirksamer Balgquerschnitt
8	ØC	Dichtfläche
9	W	Wellendurchmesser (drucklos)
10		Drückung
11		Streckung
12		Lateral ±
13		angular
14		Gewicht

*1) Gegenflansche nach DN 2633-PN16 mit Schrauben und selbstsichernden Sechskantmuttern nach DIN 985, jedoch ohne Dichtungen, separat aufgeben
Bei DN 200, Gegenflansche nach DIN 2632-PN10
Hierzu siehe Gegenflansche für Stenflex-Kompensator Typ AS-a, kpl. 1214 0948 UE 0112-38
Stenflex-Kompensator AS-a komplett 0311 2808 UC 0999-38
Montagehinweise Nr: 6.000.9.000.242 Blatt 1-4

Druckstufen					Vakuum bei Einbau-
Temperaturbelastung bis	°C	+ 50	+ 100	+ 110	länge ≤ BL
max. zul. Betriebsdruck *)	bar	16	10	6	Hier werden besondere Maßnahmen erforderlich, diese müssen angefragt werden !
Prüfdruck (+20 °C)	bar	25	25	25	
Platzdruck	bar	60	60	60	
*) bei stoßweiser Belastung ist der max. Betriebsdruck 30% niedriger anzusetzen !					



1 Flächen spanend bearbeitet

2 Typenschild rot/blau

Bei überlagerten Bewegungen sind die Werte beim Hersteller anzufragen.

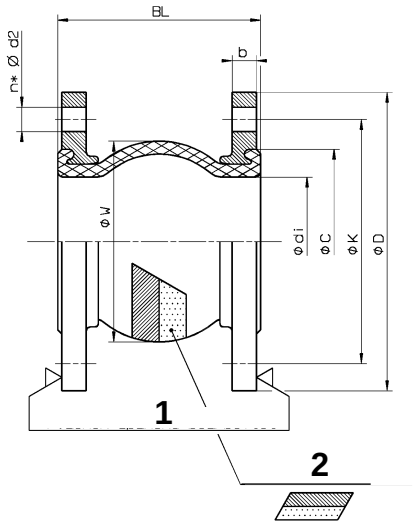
Tab. 19.2 Kompensatoren mit Flanschen nach VG 85356

		1					2					3				4
5	6								7	8	9	10	11	12	13	14
DN		PN	ØD	ØK	nxØd2	b	BL	Ødi		ØC	W					
[mm]		[bar]	[mm]						cm²	[mm]					[°]	[kg]
40	42	25	108	84	6xØ11	16	125	34	28	73	74	30	10	10	25	4,4
50	50	25	120	96	6xØ11	16	125	43	40	85	88	30	10	10	25	4,5
65	60	25	140	116	8xØ11	16	125	63	68	104	112	30	10	10	25	4,9
80	80	25	150	126	8xØ11	18	150	75	108	117	139	40	10	10	20	5,9
100	100	25	172	148	10xØ11	18	150	95	124	136	148	40	10	10	15	7,2
125	120	10	200	176	10xØ11	18	150	120	187	165	178	40	10	10	15	9,1
150	159	10	226	202	12xØ11	18	150	145	245	190	202	40	10	10	12	10,9

Legende für Spaltenbezeichnungen

Position	Zeichen	Bezeichnung
1		Flanschmaße ähnlich VG 85356 Teil 1
2		Balg
3		Bewegungsaufnahme
4		Kompensator
5	DN	Nenndurchmesser
6		Rohrdurchmesser außen
7		Wirksamer Balgquerschnitt
8	ØC	Dichtfläche
9	W	Wellendurchmesser (drucklos)
10		Drückung
11		Streckung
12		Lateral ±
13		angular
14		Gewicht

Druckstufen					Vakuum bei Einbau-
Temperaturbelastung bis	°C	+ 50	+ 100	+ 110	länge ≤ BL
max. zul. Betriebsdruck *)	bar	16	10	6	Hier werden besondere Maßnahmen erforderlich, diese müssen angefragt werden !
Prüfdruck (+20 °C)	bar	25	25	25	
Platzdruck	bar	60	60	60	
*) bei stoßweiser Belastung ist der max. Betriebsdruck 30% niedriger anzusetzen !					



1	Flächen spanend bearbeitet
2	Typenschild rot/blau

Bei überlagerten Bewegungen sind die Werte beim Hersteller anzufragen.

Für die richtige Montage sind folgende Hinweise zu beachten:

19.5.1 Gummi-Kompensatoren

Montage-Hinweise für Stenflex-Gummi-Kompensatoren Typ AS-1

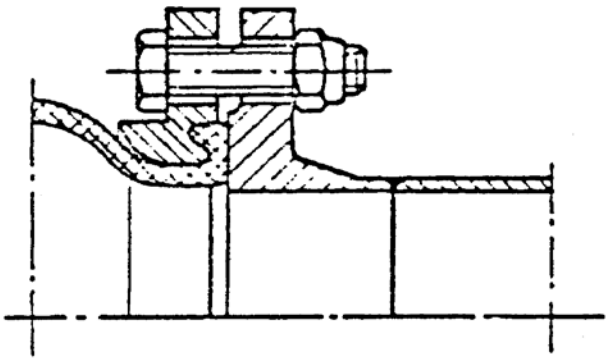
19.5.1.1.1 Lagerung

Gummi-Kompensatoren sauber und trocken lagern, vor allen Beschädigungen schützen, nicht auf dem Balg rollen. Bei Lagerung und Einbau im Freien vor intensiver Sonnenbestrahlung schützen, z.B. durch Abdeckblech.

19.5.1.2 Anordnung und Einbau

Der Kompensator soll so angeordnet werden, dass die Einbaustelle zugänglich und eine Überwachung möglich ist.
Vor Montagebeginn ist die Einbaulücke zu prüfen und der Kompensator durch Zusammendrücken mit der richtigen Einbaulänge BL einzubauen.
Bevor der Kompensator eingebaut wird, ist die Konsistenz und Beschaffenheit des Gummibalges zu prüfen, ob z.B. eine starke Versprödung, bedingt durch zu hohe Temperatur bei der Lagerung, eingetreten ist.

Abb. 19.2



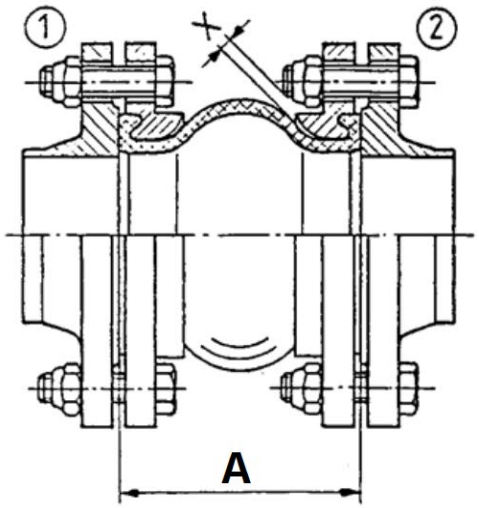
Flansch mit glatter Dichtfläche bis zum inneren Durchmesser

Je höher die Betriebstemperatur im Kompensator ist, desto schneller wird das Elastomer altern und verspröden, d.h. aushärten und der Gummikörper neigt zur Rissbildung.
Ist eine starke Rissbildung von außen am Kompensator eingetreten, sollte dieser aus Sicherheitsgründen ausgetauscht werden.

Unter Beachtung der maximal zulässigen Bewegungsaufnahmen (die auch im Betriebszustand nicht überschritten werden dürfen) ist der Kompensator torsionsfrei zu montieren. Der Kompensator soll vorzugsweise auf Zusammendrückung beansprucht werden.
Auch das Einwirken von äußerer Strahlungshitze ist zu beachten. Die Bohrungen der Flansche müssen fluchten.
Bei der Verwendung von DIN-Vorschweißflanschen und VG-Bördelflanschen sind keine zusätzlichen Dichtungen erforderlich, da der Gummiwulst dichtet. Andere Flanschausführungen sind wegen der Beschädigungsgefahr des Gummiwulstes nicht zulässig.

19.5.1.3 Montage

Abb. 19.3



A = Baulänge = Einbaulänge

Die Kompensatoren werden mit normalen Sechskantschrauben und selbstsichernden Sechskantmuttern nach DIN 985 montiert.
Als Gegenflansche werden ausschließlich DIN-Vorschweißflansche oder VG-Bördelflansche verwendet.
Hierbei sind die Muttern auf Seite der Gegenflansche vorzusehen, Montageart (1). Ist dies nicht möglich, so ist die Schraubenlänge so zu wählen, dass das Maß X nicht weniger als 15 mm beträgt, Montageart (2). (siehe Abb. 19.3)
Die Montageart (1) ist zu bevorzugen.

Die Schrauben sind mehrmals gleichmäßig über Kreuz anzuziehen; gegebenenfalls nach der ersten Inbetriebnahme etwas nachziehen. Zu strammes Anziehen kann den Gummiwulst zerquetschen.
Um Beschädigungen des Gummibalges durch Werkzeuge zu vermeiden, ist auf der Balgseite der Schraubenschlüssel zu halten und auf der Seite des Gegenflansches der Schraubenschlüssel zu drehen.
Damit die Gummidichtleiste nicht durch zu starkes Anziehen der Flansche zerstört wird, ist Tabelle 19.3 mit den Anzugsmomenten zu beachten.

Tab. 19.3 Anzugsmomente für Gummi-Kompensatoren

Nennweite DN	Anzugsmoment [Nm]
40	10
50	10
65	10
80	10
100	10
125	15
150	15

Die aufgeführten Anzugsmomente beziehen sich auf Neukompensatoren. Die Werte können bei Bedarf um 50 % überschritten werden.

Nach ca. 24 Stunden Betriebsdauer ist das Setzen durch Nachziehen der Schrauben auszugleichen.

Es sind die Montagehinweise des Kompensator-Lieferanten zu beachten.

19.5.1.4 Anordnung von Rohrhalterungen

Bei der Anordnung von Kompensatoren sind immer Rohrhalterungen/Rohrführungen vor und hinter dem Kompensator vorzusehen.
Bei Kompensatoren, die zur reinen Schwingungsentkopplung eingesetzt werden (z.B. Kompensatoren am elastisch gelagerten Aggregat), sind vor und hinter dem Kompensator Festpunkte anzubringen.
Kompensatoren, die zur Aufnahme von Wärmedehnungen in der Rohrleitung eingebaut werden, haben in der Regel auf der einen Seite eine als Festpunkt ausgebildete Rohrhalterung und auf der anderen Seite eine als Lospunkt ausgeführte Rohrführung. Je nach Einbausituation sind auch Lospunkte auf beiden Seiten möglich. Der Abstand vom Festpunkt, bzw. Lospunkt, zum Kompensator soll nicht größer als 3 x DN gewählt werden.
Siehe auch Kap. 20.4 Halterungen / Abstützungen von Rohrleitungen

19.5.1.5 Schutzmaßnahmen nach der Montage

Nach der Montage sind die Kompensatoren zum Schutz gegen Schweißhitze (z.B. Schweißspritzer, Schweißperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken. Der Kompensator-Balg muss sauber bleiben und darf nicht mit Farbanstrich versehen werden.

19.5.1.6 Unterdruckbelastung

Falls ein Kompensator durch Unterdruck (Vakuum) belastet wird, darf dieser beim Einbau keinesfalls gestreckt werden, besser ist es, den Kompensator etwas zusammenzudrücken, weil dieser hierdurch vakuumstabiler wird. Es werden hier aber besondere Maßnahmen erforderlich, die angefragt werden müssen. Hier sind die Montage-Hinweise des Kompensator-Lieferanten zu beachten.

19.5.2 Schlauchleitungen

Montage-Hinweise zu den Gummi-Schlauchleitungen
DN 8 bis DN 40 (flammfest)

19.5.2.1 Lagerung

Schlauchleitungen sauber und trocken lagern, vor allen äußeren Beschädigungen schützen. Sie sollen nicht auf dem Boden oder über scharfe Kanten gezogen werden.
Schlauch durch Abrollen des Schlauchringes gerade legen. Durch Ziehen an einem Ende des Schlauchringes wird der zulässige Mindestbiegeradius des Schlauches unterschritten und unzulässig auf Torsion beansprucht.

Abb. 19.4

Beste Lagerung = „gerade“

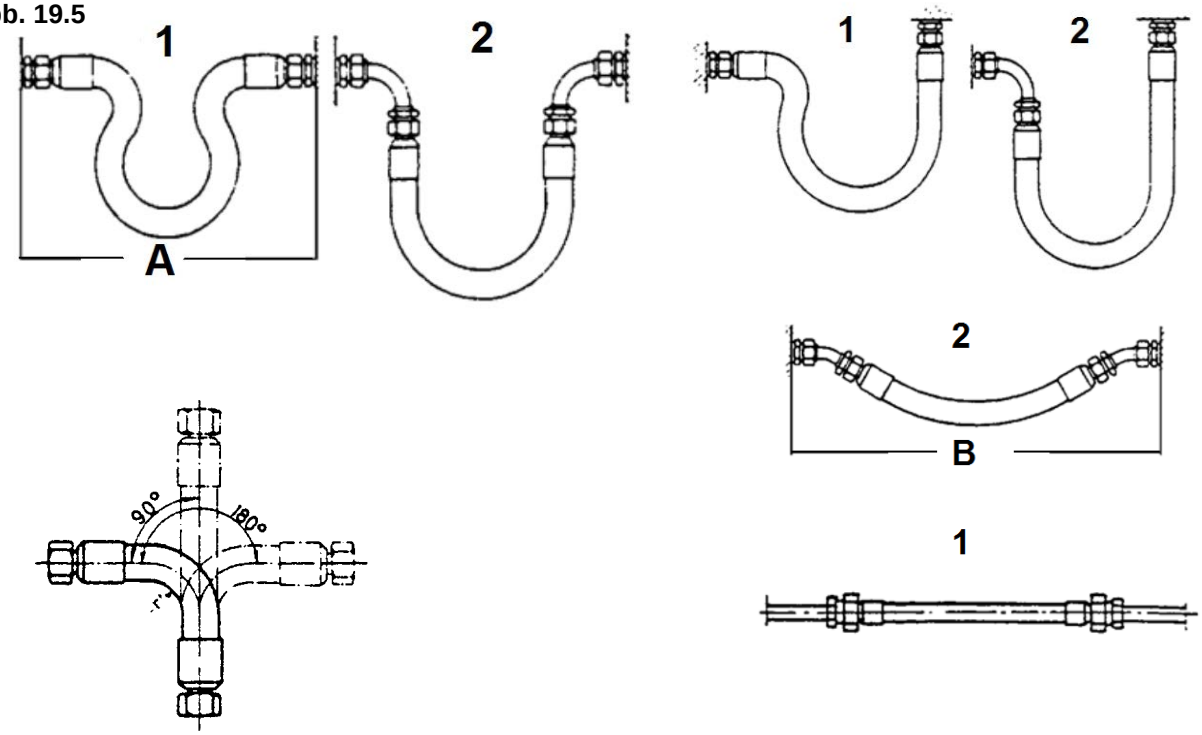
19.5.2.2 Anordnung und Einbau

Die Schlauchleitung soll so angeordnet werden, dass die Einbaustelle zugänglich und eine Überwachung möglich ist.

Schlauchleitungen sollen während des Betriebes nicht in Berührung miteinander oder mit anderen Gegenständen kommen.

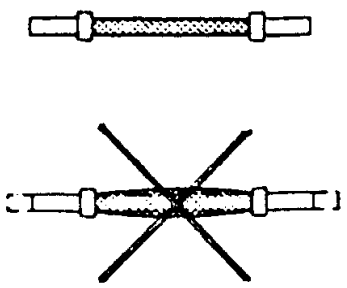
Der zulässige Biegeradius (Tab. 19.4) darf nicht unterschritten werden. Ein Überbiegen oder Strecken des Schlauchbogens ist nicht zulässig.

Abb. 19.5



1	falsch	A	Einbaulänge zu kurz
2	richtig	B	Einbaulänge genügend groß

Schlauch spannungsfrei einbauen. Axiale Stauchung nicht zulässig. Das Geflecht hebt sich hierdurch vom Schlauch ab und eine Druckbeständigkeit ist nicht mehr gewährleistet.



Schlauchleitungen dürfen nicht stark abgewinkelt oder gekrümmt werden, d.h. der Schlauch darf nicht einknicken. Unmittelbar an den Anschlüssen (Verschraubungen) dürfen keine Bewegungs- oder Biegebeanspruchungen entstehen. Der sogenannte neutrale Teil der Schlauchenden muss ausreichend bemessen sein.

Falls erforderlich sind daher an den Anschlussenden handelsübliche Winkelstücke, Krümmer oder Ring-Verschraubungen vorzusehen. Bei der Auswahl der Anschlussteile ist die Beanspruchung durch Druck, Temperatur und Art des Mediums zu beachten. Bei Bewegungen ist die Schlauchleitung so zu montieren, dass Schlauchachse und Bewegungsrichtung in einer Ebene liegen, so dass keine Torsion entstehen kann.

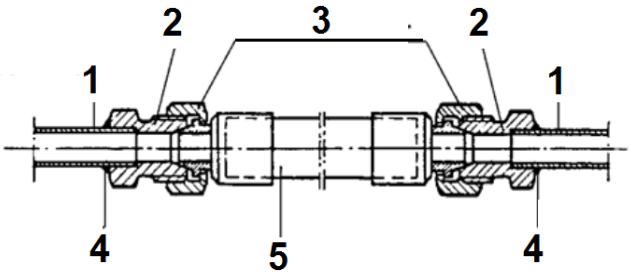
Die an den Verschraubungen der Schlauchleitung befindlichen Lötstutzen aus So Ms 59 F 50Z (= Sonder-Messing) können von den Verschraubungen abgenommen und mittels Hartlöten mit dem jeweiligen Rohrenden verbunden werden.

Nach Festlegung der Einbaulücke zwischen den zu verbindenden Rohren zunächst den Lötstutzen auf der einen Seite und nach Prüfung des möglichen Biegeradius für die Schlauchleitung den Lötstutzen auf der anderen Seite einlöten.

Die zulässigen Biegeradien auf der nachstehend angeführten Tabelle 19.5 sind zu beachten.

Die Rohrenden der Anschlussrohre müssen genau rechtwinkelig zur Rohrachse abgeschnitten sein.

Abb. 19.6



1	Anschlussrohr
2	Lötstutzen
3	Überwurfmutter
4	hartgelötet
5	Schlauchleitung

Die in Tabelle 19.4 angegebenen Mindestbiegeradien beziehen sich auf eine starre Verlegung der Schlauchleitung.
Falls sich die Bewegung der Schlauchleitung (bei einem kleinen Biegeradius) sehr oft wiederholt (= Dauerbetrieb) empfiehlt es sich einen möglichst großen Biegeradius anzustreben (u.U. unter Verwendung von Drehgelenken). Hierdurch wird ein Einknicken des Schlauches verhindert und man erreicht eine längere Lebensdauer des Schlauches.

Tab. 19.4

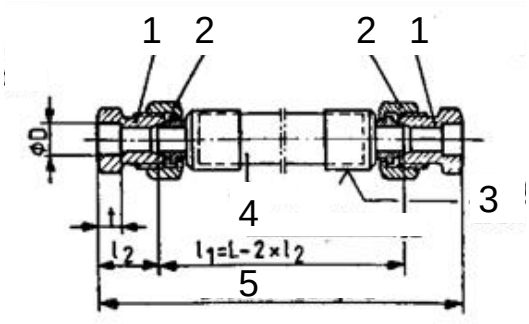
1	DN [mm]	L [mm]	rmin. *1 [mm]	L2 [mm]	2 ØD [mm]	t [mm]	3 [bar] 7	8	4 [bar]	5 [°C] 9	6
10	8	300	75	12,5	10x1,0	5	25	10	38	70	GCNA 2277
	10	300	80	16,5	14x1,5	6	25	10	38		
11	20	500	130	21,5	25x1,5	8	25	10	50	80 (14)	OLNWV 2298
	32	700	180	21,5	35x2,0	8	25	10	50	90 (15) 125 (16)	
12	32	700	240	23,5	40x2,0	10	22	10	45	80	OLNWV 2298
	20	500	130	21,5	25x1,5	8	25	10	50		
	32	700	180	21,5	35x2,0	8	25	10	50		
13	8	300	115	12,5	10x1,0	5	215	170	510	90 (14)	1STT 2432
	10	300	130	16,5	14x2,0	6	180	150	435	100 (17)	
	20	500	240	21,5	25x2,0	8	105	80	255	100/125 (16)	
	32	700	350	21,5	35x2,0	8	63	60	150		
	40	700	450	23,5	45x2,5	10	50	40	120		

*1) rmin = kleinster Biegeradius

Legende für Spalten- und Zeilenbezeichnungen

Position	Zeichen	Bezeichnung
1		Medium
2	ØD	ØD für Rohr
3		Nenndruck
4		Prüfdruck
5		Temperatur max.
6		Schlauchbezeichnung
7		Normal
8		Bei Abnahme
9		kurzzeitig
10		Diesel-Kraftstoff
11		Diesel-Kraftstoff, Wasser und Schmieröl
12		Seewasser
13		Schmieröl, Druckluft und Wasser
14		Diesel
15		Wasser
16		Schmieröl
17		Druckluft

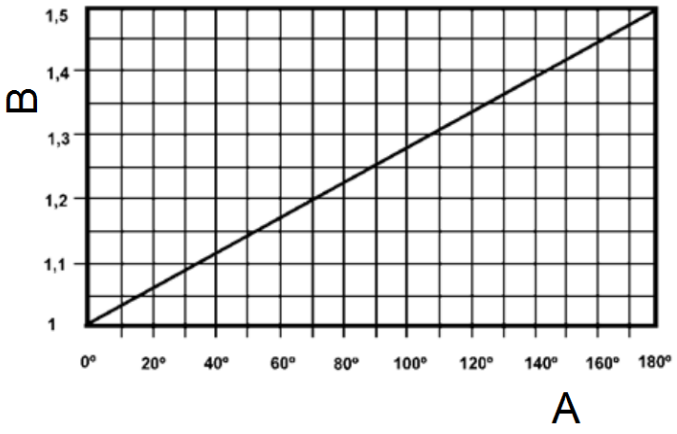
Abb. 19.6



1	Lötstutzen
2	Überwurfmutter
3	bis DN 60 Pressausführung ab DN 70 Schraubausführung
4	Schlauchleitung
5	Bestell-Länge L

Das nachstehende Diagramm (Abb. 19.7) zeigt in Abhängigkeit vom Biegewinkel der Schlauchleitung den Biegefaktor, mit dem der Mindestbiegeradius multipliziert werden muss um den zulässigen Biegeradius für Dauerbetrieb zu bestimmen.

Abb. 19.7

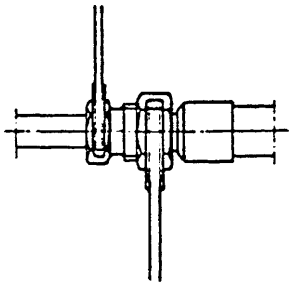


A	Biegewinkel
B	Biegefaktor

19.5.2.3 Montage

Bei Montage ist die Schlauchleitung nur an einer Seite fest anzuziehen. An der anderen Seite die Verbindung zunächst nur lose zu befestigen. Den Schlauch in der gewünschten Bewegungsrichtung 2 bis 3 mal leer bewegen, damit sich dieser verwindungsfrei ausrichten kann und dann auch auf dieser Seite fest anziehen. Bei Schlauchleitungen mit Verschraubungen ist zum Gegenhalten unbedingt ein zweiter Schraubenschlüssel zu verwenden (Abb. 19.8).

Abb. 19.8



Schlauch verdrehungsfrei anschließen.
Bei drehbaren Gewindeanschlüssen zweiten Schlüssel zum Gegenhalten verwenden.

19.5.2.4 Rohrhalterungen

Bei der Anordnung von Schlauchleitungen sind immer Fest-, bzw. Lospunkte vor und hinter der Schlauchleitung vorzusehen. Der Abstand vom Festpunkt, bzw. Lospunkt, zur Schlauchleitung soll nicht größer als 3 x DN gewählt werden.

19.5.2.5 Schutzmaßnahmen nach der Montage

Nach der Montage sind die Schlauchleitungen zum Schutz gegen Schweißhitze (z.B. Hartlotspritzer, Hartlotperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken. Die Schlauchleitung muss sauber bleiben und darf nicht mit Farbanstrich versehen werden.

19.5.2.6 Zulassungs-Prüfung

Die Schlauchleitungen sind flammenbeständig (flammfest) und erfüllen die Forderungen aller Klassifikationsgesellschaften.

19.5.3 Abgaskompensatoren

Montage-Hinweise für Axial-Kompensatoren und

Axial-Doppel-Kompensatoren für Abgasanlagen von stationären Anlagen

19.5.3.1 Lagerung

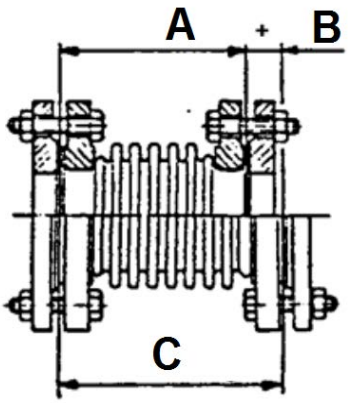
Axial-Kompensatoren sauber und trocken lagern, vor allen Beschädigungen schützen, nicht auf den Balgwellen rollen. Kompensatoren beim Transport immer anheben.

19.5.3.2 Anordnung und Einbau

Der Kompensator soll so angeordnet werden, dass die Einbaustelle zugänglich und eine Überwachung möglich ist.
Vor Montagebeginn ist die Einbaulücke für den Kompensator festzulegen, damit die richtige Einbaulänge gewährleistet ist.
Unter Beachtung der maximal zulässigen Bewegungsaufnahmen (die auch im Betriebszustand nicht überschritten werden dürfen) ist der Kompensator so zu montieren, dass dieser während des Einbaus oder auch bei Betrieb durch ungünstige Rohrspannungen nicht auf Torsion beansprucht wird. Der Kompensator soll vorzugsweise auf Zusammendrückung beansprucht werden. Ideal ist der Einbau, wenn die Kompensatoren im Betrieb der Anlage möglichst spannungsfrei sind.
Die Löcher der Flansche müssen fluchten, die Dichtung muß zentrisch sitzen. Es ist darauf zu achten, dass auch die zu verbindenden Rohre genau fluchten.
Bei den Längen-Angaben der Kompensatoren sind unterschiedliche Bezeichnungen zu beachten.

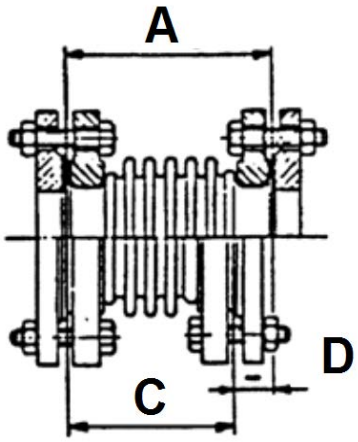
Die **Baulänge** ist die Länge in welcher der Kompensator in der Regel vom Hersteller geliefert wird (= Lieferlänge). Die Baulänge ist auf dem Typenschild des Kompensators angegeben.
Die **Einbaulänge** setzt sich zusammen aus der Baulänge und der Vorspannung (Streckung + oder Zusammendrückung -) nach Abb. 19.9 und Abb. 19.10.

Abb. 19.9



A	Baulänge
B	Streckung
C	Einbaulänge

Abb. 19.10



A	Baulänge
C	Einbaulänge
D	Zusammendrückung

In kaltem Zustand soll der Kompensator jeweils zur Hälfte vorgespannt (gestreckt + oder zusammengedrückt -) montiert werden, je nachdem, wie der Kompensator eingesetzt wird. Dies ist auch dann zu empfehlen, wenn die Axial-Bewegung des Kompensators nicht voll genutzt wird. Ergibt sich zum Beispiel eine Gesamtdehnung von nur 30 mm und der Kompensator lässt 66 mm Dehnung zu, so ist es - auch hinsichtlich der Lebensdauer - besser, den Kompensator mit ± 15 mm statt mit - 30 mm zu beanspruchen.

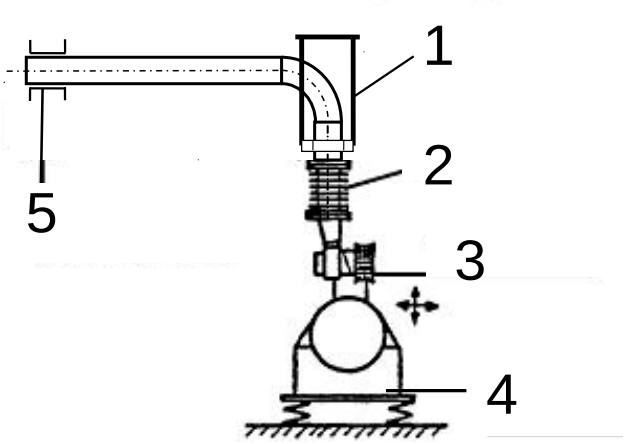
19.5.3.2.1 Einbau am Motor (Turbolader)

Beim Anschluss der anlagenseitigen Abgasrohre an den motorseitigen Abgaskompensator nach Abgasturbine muss eine Ausrichtung erfolgen. Eine schlechte Ausrichtung des motorseitigen Abgaskompensators führt zu unzulässigen Krafteinwirkungen auf das Gehäuse der Abgasturbolader.
Um die o.g. Problematik zu vermeiden, gibt es eine Montagevorschrift von uns in Form einer Zeichnung für den TCG 2032, TCG 2020 V12 und V16 mit dem Turboladertyp TPS 52 und für den TCG 2020 V20 mit dem Turboladertyp TPS 48.
Die Zeichnungen für die Montagevorschriften sind:

- TCG 2020 V20 /TPS 48: 1242 0623 UB
- TCG 2020 V12/V16 / TPS 52: 1242 0619 UB
- TCG 2032 V16: 1228 2504 UB

Hier ist immer zu beachten, dass der Motor und insbesondere der Turbolader von Beanspruchungen, welche sich aus der Wärmedehnung der anschließenden Rohrleitung ergeben, entlastet ist. Im Betrieb soll der Kompensator nur noch die Schwingungen des elastisch gelagerten Aggregates aufnehmen (Abb. 19.11). Der Kompensator muss am Turbolader so eingebaut werden, dass nach Erwärmung der Abgasleitung der Kompensator seine ungespannte Baulänge wieder erreicht. Der nachfolgende Festpunkt der Abgasleitung muss unmittelbar nach dem Kompensator angeordnet werden.

Abb. 19.11 Anordnung des Festpunktes nach Motor in der Abgasleitung



1 Festpunkt

2 Axial-Kompensator

3 Turbolader

4 Aggregat elastisch gelagert

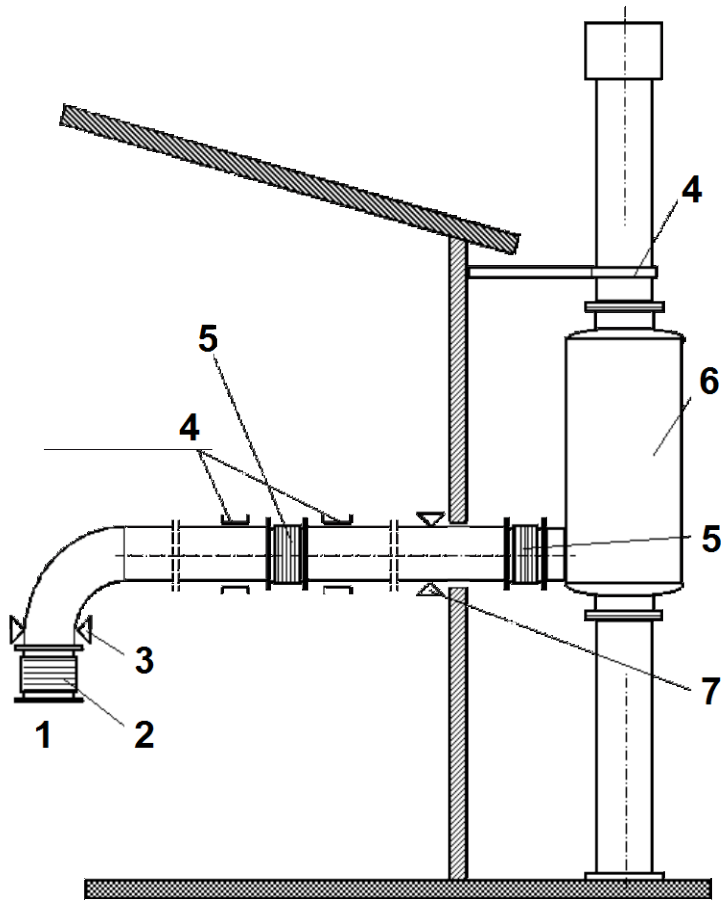
5 Lospunkt (Rohrführung)

19.5.3.2.2 Einbau in der Rohrleitungs-Strecke

Für die Ermittlung der Wärmedehnung in einer Rohrleitung gilt die Faustregel:
für Normalstahl ca. 1 mm Wärmedehnung je Meter Rohr und je 100 °C.
für Edelstahl ca. 2 mm Wärmedehnung je Meter Rohr und je 100°C.

Das bedeutet z.B. bei 1 Meter Rohr und 500 °C, dass die Wärmedehnung dieses Rohrstückes bei Normalstahl ca. 5 mm und bei Edelstahl ca. 10 mm beträgt.
Normalerweise werden in eine Abgasrohrleitungs-Strecke zur Aufnahme der Wärmedehnung Axial-Kompensatoren eingebaut. Die Anordnung der Kompensatoren ist im Aufstellungsplan für den jeweiligen Auftrag dargestellt, wobei die Einbaurichtlinien des Herstellers beachtet werden. Im Normalfall wird man bei der Weiterführung der Abgasleitung mit der Anordnung nach Abb. 19.12 auskommen.

Abb. 19.12 Festlager, Loslager und Kompensatoren in einer Abgasleitung

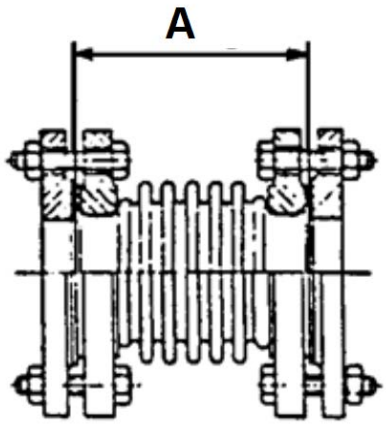


1	Motor
2	Kompensator nach Motor
3	Festpunkt nach Motor
4	Lospunkt / Rohrführung
5	Kompensator
6	Schalldämpfer
7	Festpunkt

19.5.3.3 Montage

Vor der Montage innen und nach der Montage außen kontrollieren, dass die Balgwellen frei von Fremdkörpern (Schmutz, Zement, Isoliermaterial) sind.
Die Kompensatoren werden mit normalen Sechskantschrauben und Muttern montiert.
Als Gegenflansche werden glatte Flansche bzw. Bördelflansche verwendet. Hierbei sind die Muttern auf Seite der Gegenflansche vorzusehen, siehe Abb. 19.13.

Abb. 19.13

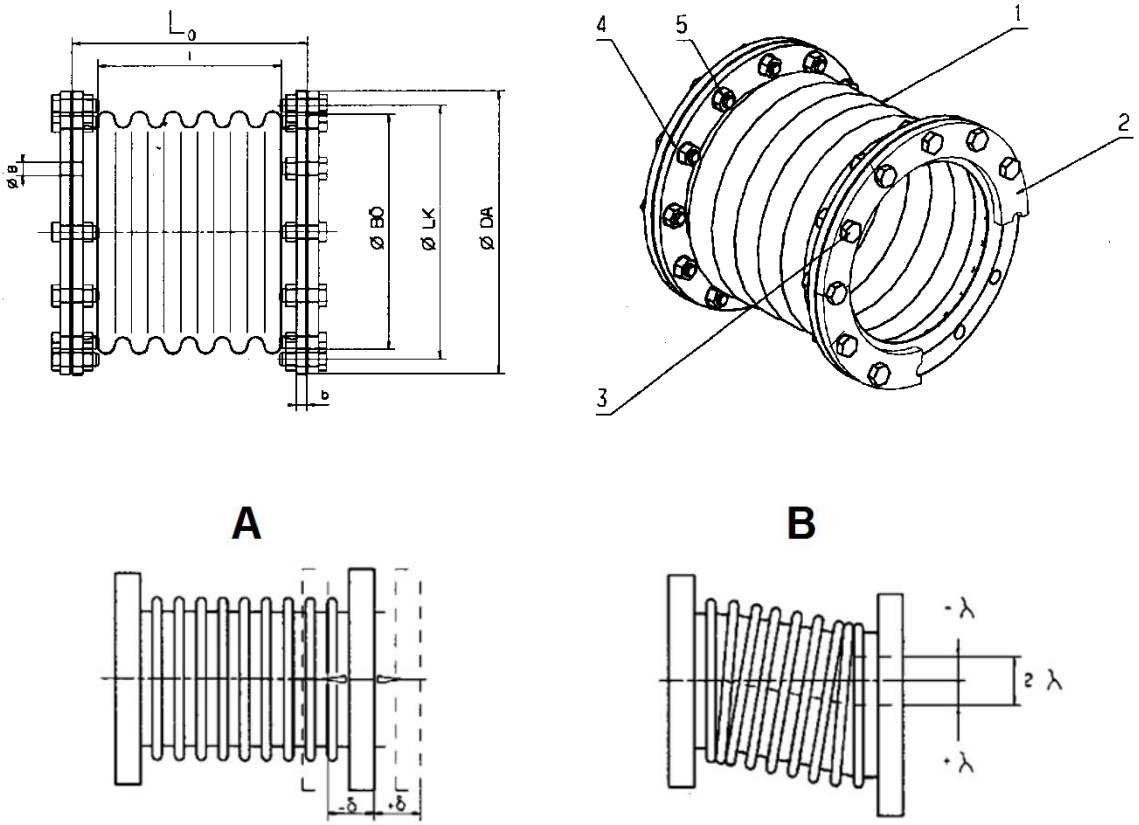


A Baulänge

Die Schrauben sind mehrmals gleichmäßig über Kreuz anzuziehen; gegebenenfalls nach der ersten Inbetriebnahme etwas nachziehen.

Um Beschädigungen des Kompensators durch Werkzeuge zu vermeiden, ist auf der Balgseite der Schraubenschlüssel zu halten und auf Seite des Gegenflansches der Schraubenschlüssel zu drehen.
Abmessungen und Anschlussmaße können Abb. 19.14 und der Tabelle 19.5 entnommen werden.

Abb. 19.14



A Axiale Bewegung des Balgs

B Laterale Bewegung des Balgs

Tab. 19.5

1						2							*1)
3	4			5	6	7					8		9
	10	11	12			13	14	15	16	17	18	19	
DN	2δN	2λN	â	L0	l	DA	LK	B	BÖ	b	N	-	G
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Stück	M	kg
100	50	6	1,0	118	60	210	170	18	147	14	4	M16	5,4
100	80	12	2,5	184	2x47								5,9
125	50	7,7	0,2	140	75	240	200	18	178	10	8	M16	5
125	200	114	2,0	340	272								6
150	50	6,9	0,2	145	78	265	225	18	202	10	8	M16	6
150	200	101,1	2,0	350	286								7
200	50	5,1	0,2	150	73	320	280	18	258	16	8	M16	11
200	200	81,2	2,0	370	291								14
250	50	3,6	0,1	150	65	375	335	18	312	16	12	M16	14
250	200	64,5	1,9	370	286								17
300	50	3,3	0,1	150	69	440	395	22	365	16	12	M20x2	18
300	200	54,4	1,6	365	285								21
350	50	3,3	0,1	155	74	490	445	22	415	16	12	M20x2	24
350	200	48,1	1,4	355	272								28
400	60	4,4	0,1	180	84	540	495	22	465	16	16	M20x2	29
400	180	39,2	1,2	365	279								35
450	60	4,1	0,1	185	98	595	550	22	520	16	16	M20x2	33
450	180	34,1	1,0	355	272								40
500	60	3,8	0,1	190	100	645	600	22	570	16	20	M20x2	36
500	180	30,4	0,9	360	270								44
600	60	2,8	0,1	190	89	755	705	26	670	20	20	M24x2	53
600	180	25,2	0,8	370	267								63
700	60	2,6	0,1	200	95	860	810	26	775	20	24	M24x2	63
700	180	21,3	0,6	365	262								74
800	60	1,9	0,1	185	79	975	920	30	880	20	24	M27x2	77
800	180	18,3	0,5	365	257								90

*1) Ohne Gegenflansch , Schrauben und Muttern

Die angegebenen Werte gelten für Raumtemperatur; Im Betriebszustand sind kleinere Werte zu erwarten.
Bei Temperaturen bis 300°C sind Abweichungen praktisch zu vernachlässigen.
Korrekturwerte $K\Delta\vartheta$ für höhere Temperaturen siehe Tabelle 19.6.
Die Summe aller relativen Beanspruchungen darf 100% des Temperaturfaktors $K\Delta\vartheta$ nicht überschreiten.

Legende für Spaltenbezeichnungen

Position	Zeichen	Bezeichnung
1		Technische Daten Axialkompensator
2		Flansche DIN 2501 PN 6
3	DN	Nennweite
4		Bewegungsaufnahme nominal bei 1000 Lastspielen
5	L0	Baulänge ungespannt
6	l	Gewellte Länge
7		Durchmesser
8		Schrauben
9	G	Gewicht
10	2δN	Axial
11	2λN	Lateral
12	â	Axial / radial
13	DA	Außendurchmesser
14	LK	Lochkreis
15	B	Bohrung
16	BÖ	Bördel
17	b	Blattdicke
18	N	Anzahl
19		Gewinde

Auch bei Überlagerung von Wärmedehnung und Schwingung müssen Weg- und Amplituden-Anteil jeweils getrennt berücksichtigt werden. Gemäß folgender Formel:

$$\left(\frac{2\delta_{axial,Auslegung}}{2\delta_{axial,Nenn}}\right)+\left(\frac{2\lambda_{lateral,Auslegung}}{2\lambda_{lateral,Nenn}}\right)+\left(\frac{\hat{a}_{\,Auslegung}}{\hat{a}_{\,Nenn}}\right)\leq K_{\Delta\vartheta}\;\;x\;100\%$$

Nenn: Nennwert (nominal) aus Tabelle 19.5
Auslegung: Max. Bewegungsaufnahme im Betrieb

Der Kompensator bestehend aus dem mehrwandigen Balg 1.4541 (X6 CrNiTi 18 9) und Bördelflansch RST 37-2 ist bis zur Betriebstemperatur von 550 °C einsetzbar.
Der Kompensator nimmt nur **eine** der angegebenen Bewegungen voll auf. Der Betriebsdruck ist zulässig bis 1 bar (PN1).
Die Einbaulänge (Baulänge + Vorspannung) ist von der anlagenseitigen Gesamtdehnung abhängig.
Die Baulänge Lo bezeichnet die Neutralstellung.

Tab. 19.6 Temperatureinfluss auf die Bewegungsgröße[1]

J	°C	100	200	300	400	500	600
$K_{\Delta\vartheta}$	--	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Werkstoff		1.4541					

19.5.3.4 Anordnung von Rohrhalterungen in der Abgasleitung

Bei der Anordnung von Kompensatoren sind immer vor und hinter dem Kompensator Rohrhalterungen vorzusehen, da sonst die Leitung seitlich ausbiegen kann. Diese Rohrhalterungen können je nach Einbausituation als Festpunkte und/oder Lospunkte ausgeführt sein. Der Abstand vom Festpunkt bzw. Lospunkt zum Kompensator soll nicht größer 3 x DN der Rohrleitung gewählt werden.
Hierbei ist zu beachten, dass die Festpunkte auch tatsächlich fest sein müssen. Die Elastizität eines Festpunktes darf nicht so groß sein, dass sich die Abgasleitung noch um einige Millimeter bewegt, bevor diese tatsächlich fest wird.
Lospunkte (Rohrführungen) sind das Rohr allseitig umfassende Rohrschellen, welche die Leitung spannungsfrei gleiten lassen. Um einen großen Reibungswiderstand zu vermeiden, müssen mögliche Verschmutzungen oder Verstopfungen zwischen Rohrführung und Rohr verhindert werden.
Zusätzliche Rohrhalterungen sind je nach Gewicht und Größe der Leitung vorzusehen.

[1] Fa. Witzenmann, „Kompensatoren“ S. 99, 1990

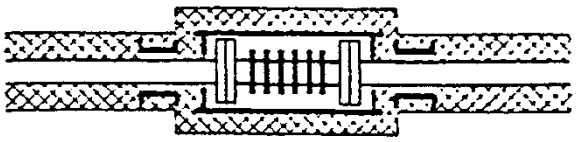
19.5.3.5 Schutzmaßnahmen nach der Montage

Nach der Montage sind die Kompensatoren zum Schutz gegen Schweißhitze (z.B. Schweißspritzer, Schweißperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken. Der Kompensator-Balg muss sauber bleiben und darf nicht mit Farbanstrich versehen werden.

19.5.3.6 Isolierung

Wegen der großen Wärmeabstrahlung ist es unter Umständen zweckmäßig, den Kompensator, vor allem innerhalb des Maschinenhauses, zu isolieren. Hierbei sollte um den Kompensator mit etwas Abstand eine gleitfähige Rohr- oder BIechhülse gelegt werden, damit das Isoliermaterial nicht direkt auf dem Kompensator aufliegt, siehe Abb. 19.16. Es besteht sonst die Gefahr, dass sich das Isoliermaterial zwischen den Flanken der Balgwellen festsetzt. Für die Isolierung sind empfehlenswert asbestfreie Isolierzöpfe oder Isoliermatten; jedoch keine Glaswolle oder Kieselgur, weil diese zur Staubbildung neigen.

Abb. 19.16



19.6 Hinweise zur Inbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme und Übergabe an den Kunden ist das Aggregat gründlich zu reinigen.
Folgende Punkte sollten beachtet werden :
Einstellung der elastischen Lagerelemente prüfen
Kupplungsausrichtung prüfen
Vorschriftsmäßiger Einbau der Kompensatoren
Kühlwasserkompensatoren spannungsfrei
Schlauchleitungen mit vorgeschriebenen Biegeradius
Abgaskompensator mit vorgeschriebener Vorspannung
Kabel mit Zugentlastung und vorgeschriebenen Biegeradius
Luftfilter frei von Staub und Schmutz

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 20

Verlegung von Rohrleitungen

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

20.	**Verlegung von Rohrleitungen**	**3**
20.1	Allgemeine Montagehinweise	3
20.2	Werkstoffe für Rohrleitungen	4
20.3	Hinweise zum Schweißen/ Löten von Rohrleitungen	5
20.3.1	Schweißen von Stahlrohren	5
20.3.2	Hartlöten von Rohren	5
20.4	Lösbare Rohrleitungsverbindungen	6
20.4.1	Flanschverbindungen	6
20.4.2	Schraubverbindungen mit Abdichtung im Gewinde	6
20.4.3	Rohrverschraubungen	6
20.5	Halterung/ Abstützung von Rohrleitungen	7
20.6	Isolierung von Rohrleitungen	7
20.7	Oberflächenbehandlung, Farbgebung	7

20. Verlegung von Rohrleitungen

20.1 Allgemeine Montagehinweise

- Alle Rohre sind nach dem Biegen, Schweißen und vor dem Verlegen innen zu säubern, d.h. gründlich mit einer Säurelösung zu beizen und anschließend mit einer alkalischen Lösung (Soda oder dergleichen) zu reinigen und mit heißem Wasser ph-neutral zu spülen. Die Rohre sind zum Schluss von innen zu konservieren.
- Zur Inbetriebnahme der Anlage müssen alle Rohrleitungen innen von Schmutz, Zunder und Spänen gründlich gereinigt sein, damit keine Fremdkörper in die Pumpen, Ventile, Wärmetauscher, Sensorik und den Verbrennungsmotor etc. gelangen können. Eine Druckprüfung muss durchgeführt sein.
- Rohrleitungen, deren Durchmesser mit den Anschlüssen an den Zubehörteilen (Pumpen, Kompressoren, Kühler usw.) nicht übereinstimmen, sind durch Reduzierstücke oder Reduzierverschraubungen anzupassen. Lage und Größe der Anschlüsse an diesen Apparaten sind den einzelnen Zubehörteil-Zeichnungen zu entnehmen.
- Bei Einbau von Messinstrumenten (z.B. Wärmemengenzähler, Gaszähler usw.) sind die vom Hersteller vorgegebenen Richtlinien zu beachten. Dies gilt besonders für Einbaulage und der Ein- und Auslaufstrecke.
- Bei Systemen, die mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, sind an den tiefsten Stellen Entleerungs- und Befüllanschlüsse vorzusehen. An allen Hochpunkten müssen Entlüftungsmöglichkeiten vorhanden sein. An den Tiefpunkten werden Entleerungs- und Befüllhähne mit Endkappe und Schlauchanschlussmöglichkeit eingebaut. An den Hochpunkten werden Entlüftungshähne oder automatische Entlüfter angebracht..
- Bei Rohrleitungen mit gasförmigen Medien sind an den tiefsten Stellen Kondensatsammler mit Entwässerungshähnen vorzusehen. Die Rohrleitungen müssen zu den Kondensatsammlern hin mit Gefälle verlegt sein.
- Für Frischölbefüllungsleitungen ist Kupferrohr zulässig (Rohrverbindungen mit Silberlot verlöten). Alternativ können für die Leitungen auch blankgezogene ERMETO-Stahlleitungen verwendet werden (Rohrverbindungen hierzu generell mit Spezialverschraubungen zusammensetzen, niemals schweißen!). Die Frischölleitungen sind nach den Verlegearbeiten gründlich mit Neuöl zu spülen.
- Frischölleitungen aus Kupfer oder Stahl können auch mit ölbeständigen Fittings verpresst werden. Handelsübliche Fittings für den Sanitärbereich sind nicht zulässig, da der Dichtungswerkstoff nicht ölbeständig ist.

20.2 Werkstoffe für Rohrleitungen

Tab. 20.1 zeigt eine Übersicht der Werkstoffe, die für die unterschiedlichen Medien für die Rohrleitungen zu verwenden sind:

Tab. 20.1:

Medium	Unterteilung	Rohrleitungswerkstoff
Destillatkraftstoff		Stahl, Kupfer
Mischkraftstoff		Stahl
Erdgas, Grubengas		Stahl, verzinkter Stahl, zwischen Gasregelstrecke und Motor Stahl oder Edelstahl; diese Leitungen müssen absolut „sauber“ sein.
Biogas, Klärgas, Deponiegas, Erdölbegleitgas		generell Edelstahl
Wasser	Motorkreis, Gemischkühlkreis, Ladeluftkreis, Heizkreis, Notkühlkreis, Rohwasserkreis	generell Stahl, je nach Wasserqualität müssen eventuell höherwertige Werkstoffe eingesetzt werden, z.B. Seewasser im Notkühlkreis / Rohwasserkreis
Schmieröl, heiße Motorölumlaufleitungen,		Edelstahl
Frischölbefüllleitungen und Altölleitungen		Stahl, Kupfer, Edelstahl
Druckluft	Anlassleitungen	Edelstahl
	Befüllleitungen	Stahl
	Steuerluftleitungen (Niederdruck)	Stahl, Kupfer
Abgas	Betrieb unter Erdgas, Grubengas	vor AWT und Innenaufstellung: Warmfester Stahl (z.B. 15 Mo 3) nach AWT und Außenaufstellung: Edelstahl
	Betrieb unter Biogas, Klärgas, Deponiegas, Erdölbegleitgas	Edelstahl (z.B. 1.4571)
	vor Katalysator	immer Edelstahl 1.4571
Kondensat	bei Gehalt von Säurebestandteilen	Edelstahl
	Rest	Stahl, Kupfer, verzinkter Stahl

Bei Verwendung von anderen als in Tabelle 20.1 angegebenen Werkstoffen ist Rücksprache im Stammhaus erforderlich.

20.3 Hinweise zum Schweißen/ Löten von Rohrleitungen

Geschweißte Verbindungen sind homogene Bestandteile der Rohrleitungen und gewährleisten eine absolute Dichtheit im Betrieb. Sie bilden die wirtschaftlichste Rohrverbindung und werden deshalb bevorzugt verwendet. Das Zusammenpassen, die einwandfreie Zentrierung der Rohrenden gegeneinander, die Schweißkantenvorbereitung und das gewählte Schweißverfahren sind Voraussetzungen für die Güte einer Schweißverbindung.
Achtung: Bei Schweißarbeiten im Rohrleitungssystem sind jegliche elektrisch leitenden Verbindungen zum Aggregat zu trennen. Stahlkompensatoren am Aggregat müssen bei Schweißarbeiten ausgebaut werden.
Bei E-Schweißungen ist die Elektroden-Masse möglichst nahe an der Schweißstelle anzubringen und eine gute Masse-Kontaktverbindung zu gewährleisten. Gummi-und Stahlkompensatoren müssen bei Schweißarbeiten abgedeckt werden, damit sie nicht durch Schweißfunken beschädigt werden können.
Siehe auch Kapitel 19.2.

20.3.1 Schweißen von Stahlrohren

Folgende Punkte sind zu beachten:
Die Rauhigkeit der Trennschnitte darf max. Rz 100 nicht überschreiten
Zugelassene Schweißverfahren nach
DIN ISO 857-1 , E-Hand, MIG oder WIG
DIN EN 439 , Argon-Schutzgas, zum Wurzelschutz Durchfluss 5-7 ltr./min. Argon
Schweißnahtvorbereitung nach
DIN EN ISO 9692-1
Richtlinie für die Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten
DIN EN ISO 5817 oder
Schweißzusatzwerkstoffe
- E-Hand : Stabelektrode DIN EN ISO 2560
- WIG: Massivstab DIN EN 440, DIN EN 439, DIN EN 1668
- MIG: Drahtelektrode DIN EN 440, DIN EN 439, DIN EN 1668

20.3.2 Hartlöten von Rohren

Hartlötverbindungen sind nach unserer Werknorm H0340 herzustellen.

20.4 Lösbare Rohrleitungsverbindungen

20.4.1 Flanschverbindungen

Flanschverbindungen zeichnen sich durch leichte Montierbarkeit aus und dienen meist als Anschlussverbindung von Rohrleitungen an Motoren, Pumpen, Wärmetauschern, Tanks usw. Vorzugsweise werden Flansche nach DIN 2501, PN10 oder PN16 verwendet, für Medien mit höherem Druck (z.B. Druckluft) mit entsprechend höherem Nenndruck.
Bei der Wartung und Instandhaltung von Motoren oder Anlagenkomponenten müssen Rohrleitungen oft zur Herstellung besserer Zugänglichkeit demontiert werden. Hier empfiehlt es sich besonders, an geeigneten Stellen Flanschverbindungen einzusetzen.
Die Dichtungswerkstoffe zwischen den Flanschen sind gemäß der Beanspruchung durch das Medium selbst sowie den Druck und die Temperatur des Mediums zu wählen. Zur Vermeidung von Leckagen ist es notwendig, Flanschverbindungen zu überwachen. Deshalb sollten Flanschverbindungen nach Möglichkeit zum Austausch der Dichtung oder zum Nachziehen der Schrauben zugänglich sein. Die visuelle Kontrolle muss auf jeden Fall gewährleistet sein.

20.4.2 Schraubverbindungen mit Abdichtung im Gewinde

Es werden vorzugsweise Whitworth-Rohrgewinde nach DIN EN 10226 für Verbindungen mit zylindrischem Innengewinde an Armaturen, Fittings usw. und kegeligem Außengewinde an Gewinderohren verwendet. Zur Erhöhung der Dichtheit sind die Gewinde vor dem Einschrauben mit Dichtungsmittel in Form von Hanf mit Dichtungskitt zu verpacken oder mit Dichtbändern aus Kunststoff zu umwickeln.
Bei Schmieröl-, Kraftstoff- und Gasleitungen soll Kunststoffdichtband verwendet werden.

20.4.3 Rohrverschraubungen

Bei den Rohrverschraubungen wird die Dichtheit durch einen Progressivring hergestellt, wodurch eine formschlüssige und leckagesichere Rohrverbindung entsteht.
Bei diesen Leitungen sind ausschließlich Präzisionsstahlrohre, vorzugsweise Rohre mit Außendurchmessern von 6 bis 38 mm zu verwenden. Je nach Rohrwanddicke und Außendurchmesser müssen Verstärkungshülsen eingesetzt werden.
Das Aufziehen des Progressivrings ist mit Sorgfalt durchzuführen.

20.5 Halterung/ Abstützung von Rohrleitungen

Rohrleitungen sind mit Schellen, Rundstahlbügeln etc. auf Konsolen oder an Wänden zu befestigen. Bei waagerecht verlaufenden Rohrleitungen ist die Stützweite dem Leitungsdurchmesser entsprechend zu wählen. Bei Rohrleitungen, die sich wegen der hohen Temperatur des Mediums ausdehnen, sind die Lager den Verhältnissen angepasst als Fest- und Loslager auszuführen. Dabei ist nötigenfalls auf Körperschallisolierung zu achten.

20.6 Isolierung von Rohrleitungen

Je nach der Temperatur des durchfließenden Mediums müssen Rohrleitungen mit einer Wärmeisolierung als Berührungsschutz versehen werden. Die Isolierdicken sind so zu wählen, dass die Oberflächentemperaturen der Isolierung 60°C nicht übersteigen. Der Berührungsschutz kann auch durch andere Maßnahmen hergestellt werden, z.B. durch im Abstand zum Objekt montierte perforierte Bleche oder Maschendraht.

20.7 Oberflächenbehandlung, Farbgebung

Alle Rohrleitungen außer Edelstahlleitungen sind grundsätzlich mit einem Anstrich zu versehen. Dazu sind die Rohre gründlich zu reinigen und zunächst mit einem Grundanstrich zu versehen, Trockenfilmdicke ca. 30 µm. Danach ist ein Decklack, Schichtdicke ca. 40 µm, aufzutragen.
Sofern keine besonderen Vorgaben bezüglich der Farbgebung vorhanden sind, sollten die Farben nach DIN 2403 ausgewählt werden. In dieser Norm sind Farben gemäß den Durchflussmedien in den Rohren festgelegt.
Rohre die eine Wärmeisolierung erhalten, sind nur mit einem Grundanstrich zu versehen.
Abgasrohre aus Stahl müssen einen warmfesten Anstrich erhalten. Hier ist ein hochhitzebeständiger Farbanstrich aus Zinksilikat vorzusehen, vorzugsweise 2 Schichten mit je 40 µm Trockenfilmdicke.

Aufbau von Energieanlagen

Kapitel 21

Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz

06-2014

Caterpillar Energy Solutions GmbH Carl-Benz-Straße 1 D-68167 Mannheim Telefon: +49(0)621 384-0 Telefax: +49(0)621 384-8612

Inhalt

21.	**Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz**	**3**
21.1	Gerüste, Bühnen, Leitern	3
21.2	Lärmschutz	3
21.3	Brandschutz, Fluchtplan	4
21.4	Berührungsschutz	4
21.5	Notstop-Einrichtungen	4
21.6	Lagerung und Entsorgung von Gefahrgut	5
21.7	Elektrische Schutzmaßnahmen	5
21.8	Unfallverhütungsvorschriften bei elektrischen Anlagen	6
21.9	Risikobeurteilungen	6

21. Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz

Bei der Planung, Montage, Betrieb und Wartung einer Anlage mit Motoraggregaten sind die allgemeinen Regeln für Arbeitssicherheit und Unfallverhütung zu beachten.
Für die Sicherheit von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen gilt seit dem 03.Okt.2002 in der EU die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV).
Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für die Konstruktion und den Bau von Maschinen sind in der EU-Richtlinie 2006/42/EG festgelegt. Hier soll im Besonderen auf einige Maßnahmen hingewiesen werden.

Die Sicherheitsvorschriften, die Bestandteil der Aggregate und/oder -Anlagedokumentation sind, müssen bei Aufbau, Wartung und Betrieb der Anlagen zwingend eingehalten werden.

21.1 Gerüste, Bühnen, Leitern

- Bei der Montage von Anlagen sind in der Regel Komponenten in solchen Höhen zu montieren, dass Gerüste bzw. Bühnen erforderlich sind. Gerüste und Bühnen müssen mit Schutzgeländern versehen sein. Falls schwere Komponenten auf dem Gerüst abgelegt werden, muss die Belastbarkeit ausreichend sein.
- Sind öfters zu bedienende Armaturen oder abzulesende Instrumente in normal nicht erreichbarer Höhe montiert, müssen stationäre Begehungsbühnen vorgesehen werden.
- Es dürfen nur vom TÜV zugelassene Leitern verwendet werden.
- Bei der Aufstellung von Motoren der Baureihe TCG 2032 sind grundsätzlich bauseits Wartungsbühnen für den Motor vorzusehen.

21.2 Lärmschutz

Im Maschinenraum werden bei Betrieb der Motoraggregate Schallpegel über 100 dB(A) erreicht, was auf Dauer für die Personen, die sich im Maschinenraum aufhalten, ohne Schutzmaßnahmen zu Gehörschäden führt. Daher ist im Maschinenraum bei Betrieb der Aggregate ein Gehörschutz zu tragen. An den Eingängen zum Maschinenraum sind Hinweisschilder zum Tragen eines Gehörschutzes anzubringen.

21.3 Brandschutz, Fluchtplan

- Die Brennstoffe für die Motoraggregate, gasförmig oder flüssig, sowie das in den Motoren verwendete Schmieröl können sich in der Atmosphäre leicht entzünden. Deshalb ist der unkontrollierte Austritt von Brennstoffen zu vermeiden bzw. zu überwachen. Mit Öl oder Kraftstoff getränkte Putzlappen sind sofort zu entsorgen, da diese bei Entzündung leicht Ursache für einen größeren Brand sind. Je nach sicherheitstechnischen Auflagen an die Ausführung der jeweiligen Anlage sind stationäre Feuerlöscheinrichtungen mit entsprechenden Warn- und Auslöse-Einrichtungen vorzusehen. Der Standort von Feuerlöscheinrichtungen wie z.B. Handfeuerlöscher, Hydranten usw. muss durch Hinweisschilder gekennzeichnet sein.
- Die Breite (mind. 600 mm) und Höhe (mind. 2000 mm) ist für die Fluchtwege zu beachten. Für den Fall eines Feuers im Maschinenraum müssen die Fluchtwege gekennzeichnet sein. Ein Fluchtplan muss vorhanden sein. Das trifft besonders zu, wenn sich der Maschinenraum innerhalb eines größeren Gebäudes befindet.
- Die gesetzlichen Vorschriften sind zu beachten.

21.4 Berührungsschutz

Alle Komponenten mit beweglichen Teilen, in Maschinenräumen sind dies in erster Linie die Motoraggregate mit den angetriebenen Generatoren, Kompressoren und Elektropumpen, sind mit entsprechenden Schutzeinrichtungen zu versehen, so dass keine direkte Berührung mit rotierenden Teilen möglich ist. Die Schutzeinrichtungen dürfen nur bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten abgenommen werden. Bei Ausführung dieser Arbeiten sind die Maschinen so von den Starteinrichtungen zu trennen, dass ein unbeabsichtigtes Starten der Maschine ausgeschlossen ist.
Bei dem Betrieb der Aggregate werden in den medienführenden Leitungen, insbesondere Kühlwasser- und Abgasleitungen, Temperaturen erreicht, die bei direkter Berührung zu Verbrennungen an der Haut führen. Diese Leitungen sind mit einer Wärmeisolierung bzw. mit einem ausreichenden Berührungsschutz zu versehen.

21.5 Notstop-Einrichtungen

Neben den Notstop-Tastern an jedem Aggregat sollte an einem gut zugänglichen Platz im Maschinenraum, vorzugsweise in der Nähe der Fluchttür, ein gesicherter Notstop-Taster zum Stillsetzen der Anlage bei Gefahr vorhanden sein.

21.6 Lagerung und Entsorgung von Gefahrgut

Kraftstoffe, Schmieröle, Kühlwasseraufbereitungsmittel, Batteriesäure, Reinigungsmittel sind Gefahrgüter, die in größeren Behältern, Fässern oder anderen Gebinden im Maschinenraum oder angrenzenden Räumen gelagert werden. Die Lagerungsorte hierfür sind so zu gestalten, dass diese Substanzen auch bei Schädigung des Behälters nicht in das Abwassersystem gelangen können.

21.7 Elektrische Schutzmaßnahmen

Die VDE-Bestimmung VDE 0100 schreibt Schutzmaßnahmen zum Schutz gegen gefährliche Berührungsspannungen vor.
Sie unterscheidet:

- Schutz gegen direktes Berühren
  Aktive Teile von elektrischen Betriebsmitteln - das sind betriebsmäßig Spannung führende Teile - müssen entweder in ihrem ganzen Verlauf isoliert oder durch ihre Bauart, Lage, Anordnung oder durch besondere Vorschriften gegen direktes Berühren geschützt sein.
- Schutz bei indirektem Berühren
  Trotz einwandfrei hergestellter Betriebsmittel kann es durch Alterung oder Verschleiß zu Isolationsfehlern kommen, so dass berührbare, leitfähige Teile zu hohe Berührungsspannungen (ab 50 V) annehmen können.

An aktiven Teilen elektrischer Anlagen darf nur im spannungsfreien Zustand gearbeitet werden.

Zur Herstellung und Sicherung des spannungsfreien Zustandes sind die 5 Sicherheitsregeln zu beachten:

- Freischalten
- gegen Wiedereinschalten sichern
- Spannungsfreiheit feststellen
- Erden und Kurzschließen
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschranken

Die Arbeitsstelle darf erst nach Durchführen aller 5 Sicherheitsregeln von der verantwortlichen Aufsichtsperson zur Arbeit freigegeben werden.
Nach Abschluss der Arbeiten müssen die Sicherheitsmaßnahmen wieder aufgehoben werden.
Die Anweisung zum Einschalten darf erst gegeben werden, wenn von allen Arbeitsstellen die Freigabe der Anlage und von sämtlichen Schaltstellen die Einschaltbereitschaft gemeldet worden ist.

21.8 Unfallverhütungsvorschriften bei elektrischen Anlagen
Unfallverhütungsvorschriften sind zu beachten!

Insbesondere die „Allgemeinen Vorschriften“ BGV A1 sowie „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ VBG4. Für das Errichten von Starkstromanlagen gilt die VDE 0100 (bis 1 kV) bzw. die VDE 0101 (über 1 kV) und für den Betrieb die DIN EN 50191 bzw. die VDE 0105.

Hinweis:

Elektrische Anlagen und Starkstromanlagen dürfen nur von geschultem Personal errichtet und betrieben werden. Für die Inbetriebsetzung von Mittelspannungsgeneratoren muss das Personal speziell dafür geschult/ ausgebildet sein.

21.9 Risikobeurteilungen

Für alle -Aggregate wurden Risikobeurteilungen durchgeführt und dokumentiert. In den Risikobeurteilungen werden die Möglichkeiten einer Gefährdung bei Aufbau, Start, Betrieb und Wartung der Aggregate dargestellt und bewertet. Weiterhin werden die zu ergreifenden Maßnahmen zur Verringerung der Gefährdung dargestellt.